Rancang Bangun Sistem Pompa dan Pipa pada Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Sebagai Sistem Pengaliran Air

Firman Rhamadhan[1], Maria Fransisca Soetanto[2*], Muhammad Rizki Zuhri[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Aeronautika,Jurusan, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
[1]E-mail : firman.rhamadhan.aer22@polban.ac.id
[2]E-mail : mariasoetanto@polban.ac.id (corresponding author)*
[3]E-mail : muhammad.rizki@polban.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini, dirancang dan dibangun sistem pompa dan jaringan pipa yang digerakkan oleh turbin angin vertikal tipe Savonius dua tingkat. Sistem ini ditujukan sebagai solusi alternatif pengaliran air untuk masyarakat di daerah yang sulit dijangkau oleh sumber air bersih. Prinsip kerja alat ini adalah memanfaatkan gaya hambat (*drag*) dari hembusan angin yang ditangkap oleh bilah turbin, kemudian energi rotasi yang dihasilkan ditransmisikan ke poros penggerak untuk mengoperasikan sistem pompa. Pompa yang digunakan bekerja berdasarkan prinsip gerak bolak-balik (*reciprocating*/piston) yang menciptakan perbedaan tekanan antara sisi masuk (inlet) dan sisi keluar (outlet), sehingga mampu memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Dalam proses pengujian, dilakukan perbandingan terhadap tiga jenis konfigurasi instalasi pipa guna mengetahui sistem mana yang memberikan debit aliran paling optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua konfigurasi sistem pemipaan mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi, dengan nilai maksimum mencapai 99,92% pada semua bentuk sistem pemipaan. Efisiensi minimum bervariasi pada tiap konfigurasi, yaitu 99,77% pada bentuk 1, 99,62% pada bentuk 2, dan 99,69% pada bentuk 3.

Kata Kunci
turbin Savonius, gaya hambat, pompa, pipa, debit aliran, efisiensi

In this study, a pump and piping system was designed and built, powered by a two-stage vertical Savonius wind turbine. The system is intended as an alternative solution for water distribution in areas that are difficult to access and lack clean water sources. The working principle of the device is based on utilizing drag force from the wind, which is captured by the turbine blades. This wind energy is converted into rotational motion and transmitted to a drive shaft to operate the pump system. The pump used in this system operates on a reciprocating (piston) mechanism, which creates a pressure difference between the inlet and outlet sides, allowing fluid to be moved from one place to another. During testing, three different piping configurations were compared to determine which setup delivered the most optimal flow rate. The test results show that all piping system configurations are capable of producing very high efficiency, with a maximum value of 99.92% achieved in all types of piping systems. The minimum efficiency varies for each configuration: 99.77% for type 1, 99.62% for type 2, and 99.69% for type 3.

Keywords
Savonius turbine, drag force, pump, piping, flow rate, efficiency

1. PENDAHULUAN

Air adalah cairan yang dapat menekan segala arah dengan kekuatan yang sama pada kedalaman tertentu, sesuai dengan hukum yang disebut tekanan hidrostatis. Karena air memiliki berat, sehingga akan dipengaruhi oleh gravitasi bumi, air secara alami akan selalu mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Selain itu, air juga merupakan salah satu unsur penting bagi semua makhluk hidup, termasuk manusia. Air juga berperan penting dalam kelangsungan atau kegiatan sehari-hari, di mana air dapat digunakan untuk banyak hal, seperti minum, mandi, mencuci, memasak, dan banyak kegiatan lainnya. Effendi (2003) menyarankan agar lokasi sebaiknya dipilih di area yang bebas atau berada cukup jauh dari potensi sumber pencemaran, seperti limbah domestik, pertanian, maupun limbah industri. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat memindahkan air (fluida) dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.

Untuk memindahkan air dari tempat rendah ke tempat tinggi, dibutuhkan alat bantu seperti pompa. Pompa berfungsi mengubah energi mekanis menjadi energi hidrodinamik, di mana fluida memperoleh energi untuk mengalir melalui sistem perpipaan akibat perbedaan tekanan antara sisi isap dan sisi buang (1). Salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk menggerakkan pompa adalah energi angin.

Energi angin merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan melimpah. Di Indonesia, meskipun kecepatan angin tergolong rendah (3–7 m/s), potensi penggunaannya tetap menjanjikan, terutama dengan menggunakan turbin angin vertikal yang lebih cocok untuk kondisi tersebut (2). Turbin angin vertikal tipe Savonius, khususnya tipe-U, bekerja dengan prinsip perbedaan gaya pada sisi cekung dan cembung bilah, menjadikannya efektif meskipun angin berubah arah (3).

Di Politeknik Negeri Bandung, telah dikembangkan Turbin Angin Savonius Dua Bilah Dua Tingkat yang mampu memanfaatkan aliran angin dari berbagai arah untuk menghasilkan putaran. Putaran tersebut diteruskan ke poros yang terhubung dengan sistem pompa torak, yang selanjutnya memompa air melalui sistem pemipaan menggunakan *check valve* jenis tusen klep.

Pada penelitian ini, dibuat konfigurasi sistem pemipaan yang berbeda panjang guna mengetahui debit air yang dihasilkan. Hal ini dilakukan agar pada kondisi di lapangan, sistem pemipaan dapat menyesuaikan kondisi di lapangan berdasarkan kebutuhan yang ingin dicapai.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Air merupakan sumber daya vital bagi kehidupan manusia dan digunakan dalam berbagai aktivitas, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun sektor industri, kesehatan, dan pelayanan umum. Volume kebutuhan air bersih pun bervariasi tergantung pada jenis dan skala aktivitas (4). Untuk mengatasi keterbatasan distribusi air, khususnya di daerah terpencil atau minim infrastruktur, dibutuhkan sistem pemompaan yang efisien dan hemat energi.

Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan energi angin sebagai sumber penggerak pompa air. Turbin angin vertikal tipe Savonius menjadi pilihan karena mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah (3–5 m/s) dengan efisiensi yang cukup baik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa turbin empat sudu tipe L mampu menghasilkan debit air sebesar 0,0018 m³/menit pada kecepatan angin 3 m/s, meningkat menjadi 0,0031 m³/menit pada 5 m/s, dengan daya output mencapai 7,87 watt yang cukup untuk menggerakkan pompa diafragma (5).

Distribusi air yang dihasilkan juga sangat dipengaruhi oleh desain sistem perpipaan, termasuk variasi bentuk, dimensi, serta konfigurasi percabangan. Penelitian menunjukkan bahwa debit terbesar terjadi pada pipa lurus, dengan peningkatan debit sebesar 1,27% pada sistem tiga cabang, 2,07% untuk empat cabang, dan 13,43% pada lima cabang. Faktor seperti kehilangan tekanan akibat gesekan, belokan, dan ukuran pipa menjadi penentu utama dalam efektivitas distribusi air (6).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Turbin Angin

Ada dua (2) jenis utama turbin angin, yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*/HAWT) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*/VAWT).

a. Turbin angin sumbu horizontal
   Jenis turbin yang paling banyak dijumpai dan digunakan secara luas di dunia adalah turbin angin berporos horizontal. Umumnya, HAWT dimanfaatkan untuk keperluan pembangkitan listrik dalam skala besar dan komersial, terutama di wilayah yang memiliki potensi angin cukup tinggi (lihat Gambar 1).
   HAWT dikenal memiliki efisiensi konversi energi yang cukup tinggi, meskipun bekerja pada kecepatan angin yang cenderung lebih rendah. Namun, kekurangannya adalah desainnya yang cukup kompleks dan biaya produksinya relatif tinggi(7).

Gambar 1. Turbin angin sumbu horizontal

b. Turbin angin sumbu vertikal
   Turbin angin yang memiliki sumbu rotasi tegak lurus terhadap arah aliran angin disebut sebagai turbin angin poros vertikal, atau lebih dikenal dengan istilah *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Turbin jenis ini juga sering disebut sebagai turbin angin sumbu silang (lihat Gambar 2). Salah satu kelebihan utama dari VAWT adalah kemampuannya dalam menangkap angin dari berbagai arah tanpa perlu penyesuaian posisi. Dengan kata lain, turbin ini tidak memerlukan sistem *yawing* untuk mengikuti arah angin, seperti yang dibutuhkan pada turbin poros horizontal(7).

Gambar 2. Turbin angin sumbu vertikal

2.2.2 Gaya pada aerodinamika

Ada beberapa gaya-gaya aerodinamika yang akan dibahas, yaitu:

a. Gaya angkat (*lift*)
   Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap arah aliran fluida (misalnya udara). Gaya ini dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara sisi atas dan bawah permukaan benda, seperti bilah turbin atau sayap pesawat.

$$L = \frac{1}{2}\,\rho\, v^2\, S\, C_L \qquad (1)$$

b. Gaya Hambat (*drag*)
   Gaya yang bekerja sejajar dengan arah aliran fluida, menghambat gerakan benda. Gaya ini timbul akibat gesekan dan tekanan yang

ditimbulkan oleh aliran fluida pada permukaan benda.

$$L = \frac{1}{2}\,\rho\, v^2\, S\, C_D \qquad (2)$$

2.2.3 Dasar mekanika fluida

Mekanika fluida merupakan cabang ilmu fisika yang membahas perilaku zat cair dan gas, baik dalam keadaan diam maupun saat mengalir. Secara umum, dalam mekanika fluida terbagi menjadi dua kategori, yaitu fluida statis (yang tidak bergerak) dan fluida dinamis (bergerak)(8). Adapun persamaan yang akan dibahas, yaitu:

a. Hukum kontinuitas

Dalam suatu sistem tertutup, laju aliran (debit) fluida akan tetap konstan selama tidak terjadi perubahan massa jenis. Perubahan hanya akan terjadi jika ada perbedaan luas penampang aliran, namun jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu tetap sama. Prinsip ini dikenal sebagai hukum kontinuitas(8).

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \qquad (3)$$

b. Hukum bernoulli

Hukum bernoulli menjelaskan bahwa ketika kecepatan aliran fluida meningkat, maka tekanan fluida atau energi potensialnya akan menurun secara bersamaan. Prinsip ini berlaku untuk zat cair yang mengalir secara kontinu dalam pipa, tanpa adanya perubahan massa jenis dan gesekan yang signifikan pipa(8).

$$P + {}^1\!/_2\,\rho v^2 + \rho g h = konstan \qquad (4)$$

c. Debit aliran

Besarnya fluida yang mengalir dalam waktu tertentu.

$$Q = A.v \qquad (5)$$

d. Bilangan reynolds (Re)

Digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida (laminar atau turbulen).

$$Re = \frac{\rho \pi D}{\mu} \qquad (6)$$

2.2.4 Definisi sistem pemipaan

Sistem perpipaan adalah susunan pipa yang digunakan untuk mengalirkan fluida, seperti cairan atau gas, dari satu tempat ke tempat lain. Sistem ini sangat penting dan banyak digunakan, misalnya dalam penyaluran air bersih, bahan bakar, maupun pembuangan limbah. Dalam penggunaannya, sistem perpipaan terdiri atas berbagai komponen dan teknik tertentu agar aliran fluida dapat berjalan dengan lancar, aman, dan efisien(9). Adapun komponen-komponen yang akan dibahas yaitu:

a. Pipa, adalah elemen dasar dari sistem perpipaan. Mereka terbuat dari berbagai bahan, seperti baja, tembaga, plastik, atau keramik, tergantung pada jenis fluida yang dialirkan dan kondisi lingkungan.
b. Katup, adalah alat yang berfungsi untuk mengatur jalannya fluida dalam suatu sistem. Dengan menggunakan katup, operator dapat membuka, menutup, atau mengalihkan arah aliran fluida sesuai kebutuhan.
c. *Fitting*, merupakan komponen sambungan yang digunakan untuk menyatukan pipa satu dengan yang lain. Selain sebagai penyambung, *fitting* juga berfungsi untuk mengubah arah aliran fluida atau menghubungkan pipa dengan peralatan lain dalam sistem perpipaan.
d. Pompa, berfungsi untuk membantu memindahkan fluida melalui saluran pipa. Alat ini sangat dibutuhkan, terutama pada sistem yang memerlukan tekanan tambahan agar aliran fluida dapat berjalan dengan lebih lancar dan efisien.
e. Reservoar atau tangki, digunakan sebagai tempat penyimpanan fluida, baik sebelum diproses maupun setelah melalui sistem perpipaan. Tangki juga berperan sebagai wadah penampung fluida yang digunakan dalam sistem tersebut(9).

2.2.4.1 Headloss pada instalasi pipa

Secara umum, penyebab kehilangan tekanan dibagi menjadi dua jenis, yaitu kehilangan tekanan besar dan kecil. Kehilangan tekanan besar biasanya disebabkan oleh gesekan antara fluida dan permukaan dalam pipa sepanjang aliran. Sementara itu, kehilangan tekanan kecil terjadi di titik-titik tertentu, seperti pada saat fluida masuk ke dalam pipa (inlet), keluar dari pipa (outlet), melalui sambungan atau *fitting*, sambungan langsung tanpa *fitting* (seperti sambungan *butt weld*), serta saat melewati katup. Semua kondisi tersebut dapat menyebabkan gangguan kecil pada aliran yang berdampak pada penurunan tekanan(10).

Kehilangan tekanan utama (major headloss) pada aliran laminar dapat dihitung menggunakan persamaan Darcy-Wisbach, yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$h_f = f.\frac{L}{D}.\frac{V^2}{2.g} \qquad (7)$$

Tetapi perlu mencari nilai f terlebih dahulu, berdasarkan persamaan Hagen–Poiseuille untuk aliran laminar, yaitu:

$$f = \frac{64}{Re} \qquad (8)$$

Jika di dalam sistem perpipaan terdapat komponen tambahan seperti siku, percabangan, atau katup, maka perhitungan tekanan harus memperhitungkan kerugian tekanan akibat komponen-komponen tersebut. Kerugian ini termasuk dalam kategori kehilangan tekanan minor dan dinyatakan melalui suatu nilai yang disebut koefisien kehilangan tekanan, atau nilai K (lihat tabel 3)(10).

Tabel 1. Koefisien resistansi aksesori pipa

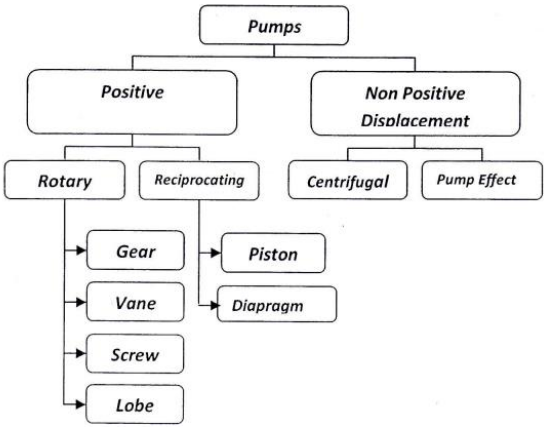
Nominal Pipe Size (inch)				
Description	L/D	1/2	3/4	1
Gate	8	0,22	0,20	0,18
Globe	340	9,20	8,50	7,80
Angle	55	1,48	1,38	1,27
Ball	3	0,08	0,08	0,07
Plug Valve Straightway	18	0,49	0,45	0,41
Plug Valve 3 Way Through Flow	30	0,81	0,75	0,69
Plug Valve Branch Flow	90	2,43	2,25	2,07
Swing Check Valve	50	1,40	1,30	1,20
Lift Check Valve	600	16,20	15,00	13,80
Standard Elbow				
90	30	0,81	0,75	0,69
45	16	0,43	0,40	0,37
Long Radius 90	16	0,43	0,40	0,37
Standard Tee				
Through Flow	20	0,54	0,50	0,46
Through Branch	60	1,62	1,50	1,38

Untuk menentukan minor headloss dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Wisbach sebagai berikut(10):

$$h_m = k\frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

2.2.5 Teori dasar pompa

Pompa merupakan perangkat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan cairan dari satu lokasi ke lokasi lain melalui jaringan pipa. Selama pengoperasiannya, pompa menciptakan selisih tekanan antara bagian masuk (*suction*) dan bagian keluar (*discharge*). Berdasarkan jenisnya, pompa terbagi dalam beberapa jenis, seperti yang terlihat pada Gambar 4(11).



Gambar 3. Klasifikasi pompa

2.2.6 Kesamaan dinamik

Menurut Teorema Buckingham, kinerja turbin angin dapat dianalisis melalui prinsip keserupaan (*similitude*), yang memungkinkan evaluasi prototipe berdasarkan data model skala kecil, atau meninjau pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa turbin (12). Untuk mencapai kesamaan dinamik, gaya-gaya pada model harus sebanding dengan gaya pada prototipe, yang dicapai dengan menyamakan bilangan Reynolds (Re), seperti pada persamaan berikut ini.

$$Re_{(model)} = Re_{(prototype)} \quad (10)$$

$$\left(\frac{\rho.V.D}{\mu}\right)_{model\ (m)} = \left(\frac{\rho.V.D}{\mu}\right)_{Prototype\ (p)} \quad (11)$$

$$\frac{\rho_m.V_m.D_m}{\mu_m} = \frac{\rho_m.V_p.D_p}{\mu_p} \quad (12)$$

$$V_m.D_m = V_p.D_p \quad (13)$$

Dikarenakan skala model terhadap *prototype* adalah 1 : 3, maka :

$$V_m.\frac{1}{3}D_p = V_p.D_p \quad (14)$$

$$\frac{1}{3}V_m = V_p \quad (15)$$

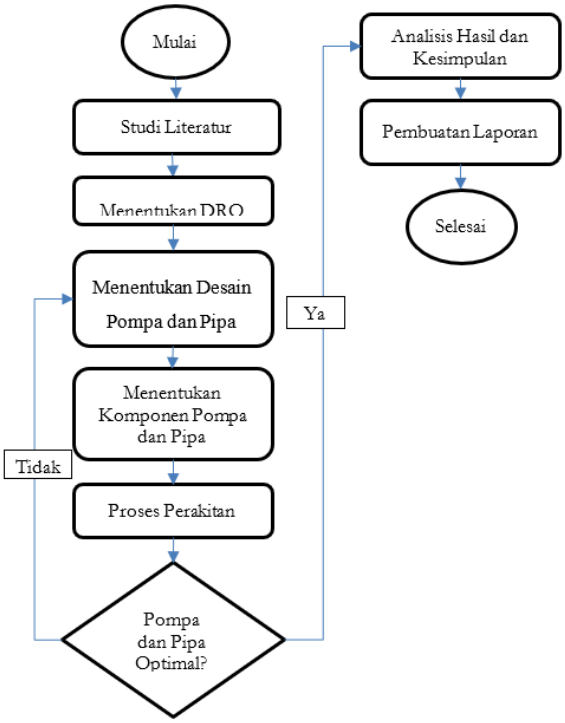
3. METODOLOGI

3.1 Metodologi Penyelesaian Masalah

Metodologi penyelesaian masalah pada Tugas Akhir ini disusun secara sistematis dan terstruktur, dimulai dari tahap studi literatur hingga tahap penyelesaian akhir. Setiap langkah dalam proses ini dijelaskan dan divisualisasikan dalam bentuk diagram alir.

3.2 Diagram Alir

Diagram alir pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 5, yang menunjukkan alur kerja dimulai dari studi literatur, penentuan *Design Requirement Objectives* (DRO), perancangan desain serta pemilihan komponen pada sistem pompa dan pipa, perakitan, hingga tahap pengujian. Pada tahap pengujian, akan dievaluasi apakah sistem yang dirancang berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Jika belum berhasil, proses dapat kembali ke tahap-tahap sebelumnya untuk dilakukan perbaikan. Jika telah memenuhi kriteria keberhasilan, maka dilanjutkan ke tahap analisis data dan penarikan kesimpulan.



Gambar 4. Diagram alir

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini studi literatur sangat dibutuhkan dalam pembuatan suatu laporan, karena digunakan sebagai referensi yang dapat berupa artikel, jurnal, tesis dan penelitian mengenai pembuatan sistem pompa dan pipa pada turbin angin. Untuk menunjang penelitian ini penulis juga melakukan observasi lapangan guna melakukan pengumpulan data dan kekurangan dalam pengembangan alat pompa torak dan sistem perpipaan pada turbin angin savonius dua tingkat tersebut.

3.2.2 Penentuan DRO

Pada Tabel 1 menampilkan DRO dari sistem pompa dan pemipaan yang di rencanakan dibuat. Terdapat beberapa

requirement seperti, *functional, operational, production, safety*, serta prosedur *installation* dan *maintenance* dengan kategori *must* dan *wish* yang ditentukan berdasarkan kebutuhannya.

Tabel 2. Design Requirements and Objectives

Tipe	Kategori	Parameter
Functional Requirements	*Must*	Daya mekanik yang dihasilkan turbin cukup untuk menggerakkan pompa
	Must	Dapat menghasilkan debit > 1 liter/menit pada kecepatan rotasi > 35 rpm
	Wish	Sistem dirancang dengan sambungan yang minimal untuk mengurangi potensi kebocoran
Operational Requirements	*Must*	Menggunakan energi angin sebagai sumber utama (energi terbarukan)
	Wish	Dapat berputar di kecepatan angin yang tidak terlalu besar (3 m/s)
Production Requirements	*Must*	Komponen mudah ditemukan di pasaran
Safety Requirements	*Must*	Material yang bersentuhan dengan air secara langsung harus tahan terhadap korosi, guna tidak mempengaruhi kualitas air
Installation & Maintenance Requirements	*Must*	Komponen pompa dan pipa harus mudah dibongkar untuk perawatan dan pembersihan

3.2.3 Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan komponen pada sistem pompa dan pemipaan menggunakan *software* solidworks. Pada bagian ini juga menentukan desain dan material yang akan digunakan.

3.2.4 Pembuatan dan Pembelian Komponen

Pembuatan komponen akan dibuat dengan proses manufaktur dari tahap perancangan seperti poros engkol, sambungan batang pompa, batang pompa piston, piston pompa dan lain-lain yang menggunakan material ST 37 dan ST 40. Adapun beberapa komponen yang dibeli seperti pipa, *check valve, elbow, reducer*, dan *tee pipe* yang memiliki bahan PVC. Dalam pembuatan komponen digunakan alat-alat seperti, pembubutan, frais *(milling),* gerinda, las listrik, gergaji, jangka sorong, dan *roll* meter.

3.2.5 Perakitan

Pada tahap ini penulis menggabungkan semua komponen menjadi suatu sistem, ada dua sistem yaitu sistem pompa dan sistem pemipaan. Setelah semua komponen selesai dibuat dan dibeli, maka langkah selanjutnya adalah proses perakitan yang mengacu pada gambar kerja yang telah ditentukan. Setelah dirakit, maka sistem pompa dan pipa bisa dihubungkan ke menara turbin angin.

Gambar 5. Hasil perakitan sistem pompa dan pipa

3.2.6 Pengujian Alat

Dalam hal ini, dilakukan pengujian dengan cara manual, yaitu untuk mengetahui bahwa air dalam wadah bisa berpindah ke sisi yang lain serta apakah ada kebocoran pada sambungan pipa, dengan memutar turbin yang terhubung ke poros engkol di mana poros engkol tersebut terhubung dengan batang penggerak piston dan akan menghasilkan gerakan maju mundur pada sistem pompa.

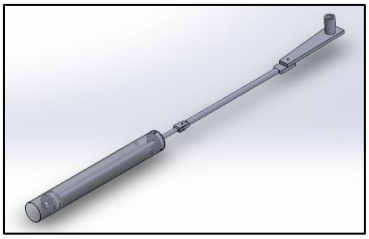
Jika pompa dan sistem perpipaan dapat bekerja dengan baik maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian di lapangan, tetapi jika kondisi di lapangan tidak memadai maka pengujian akan dilakukan menggunakan *Wind Tunnel*, dengan kondisi:

1. Kondisi kecepatan angin yang di keluarkan oleh *Wind Tunnel* cukup untuk menggerakkan turbin.
2. Pengujian dilakukan setelah semua alat dan peralatan yang dibutuhkan telah tersedia.

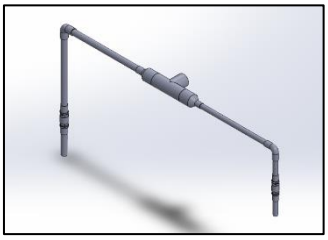
4. Hasil dan pembahasan

4.1 Hasil Desain

Setelah melalui tahapan perancangan pada aplikasi solidworks seperti yang terlihat pada gambar 7 dan 8, serta penentuan material, alat, dan bahan yang dibutuhkan, proses dilanjutkan ke tahap manufaktur.



Gambar 6. Desain sistem pompa



Gambar 7. Desain sistem pemipaan

Hasil dari keseluruhan proses tersebut berupa alat sistem pompa dan pipa yang telah selesai dibuat serta telah dipasang pada menara turbin angin, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Hasil pemasangan sistem pompa dan pipa ke menara

Pada sistem pemipaan dibuat tiga variasi jenis pemipaan, di mana terdapat variasi yang sama panjang dan berbeda panjang pada sisi input dan output, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Variasi Jenis Instalasi Sistem Pipa Turbin Besar (Prototype)

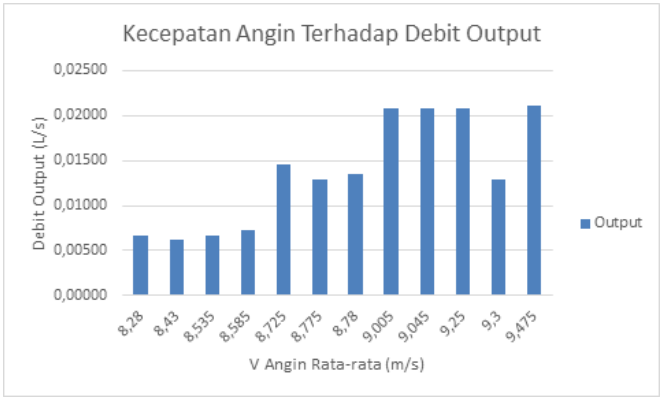
Jenis	Panjang sisi input (cm)	Panjang sisi output (cm)
1	45 cm	45 cm
2	60 cm	30 cm
3	30 cm	60 cm

4.2 Hasil Pengujian

Karena pada turbin berukuran besar (prototipe) terdapat berbagai faktor lapangan yang sulit dikendalikan, maka pengujian dilakukan menggunakan turbin model berskala kecil di dalam *wind tunnel*. Pengujian ini tetap menggunakan tiga konfigurasi variasi sistem pemipaan yang telah dirancang dan dihubungkan dengan pompa torak dengan skala perbandingan 1:3 (lihat Gambar 10). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui konfigurasi sistem pemipaan mana yang mampu menghasilkan debit aliran paling optimal.

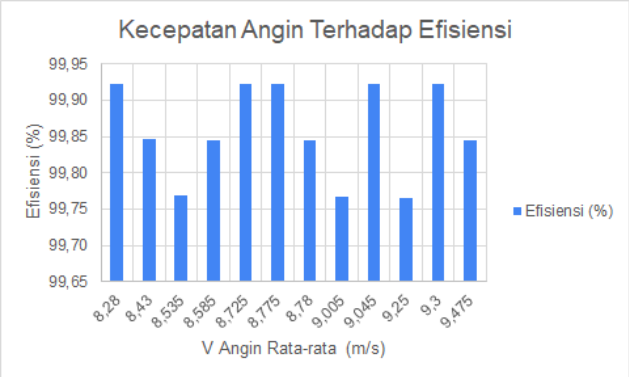
Gambar 9. Turbin model (kecil)

1. Sistem pemipaan bentuk 1



Gambar 10. Hubungan kecepatan angin terhadap debit output pemipaan bentuk 1

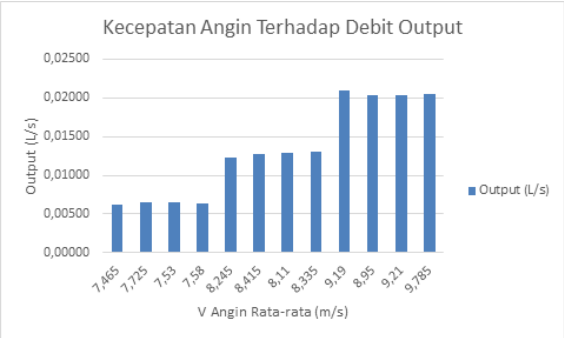
Pada Gambar 10, grafik menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka debit air yang dihasilkan juga semakin besar. Pada kecepatan angin di bawah 8,7 m/s, debit air masih kecil, yaitu di bawah 0,007 L/s. Namun saat kecepatan angin naik ke sekitar 8,7 hingga 8,78 m/s, debit mulai meningkat hingga sekitar 0,014 L/s. Debit paling tinggi terjadi saat kecepatan angin mencapai 9,005 hingga 9,25 m/s, yaitu lebih dari 0,020 L/s. Meskipun ada sedikit penurunan pada kecepatan 9,3 m/s, debit kembali naik di 9,475 m/s.



Gambar 11. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi pemipaan bentuk 1

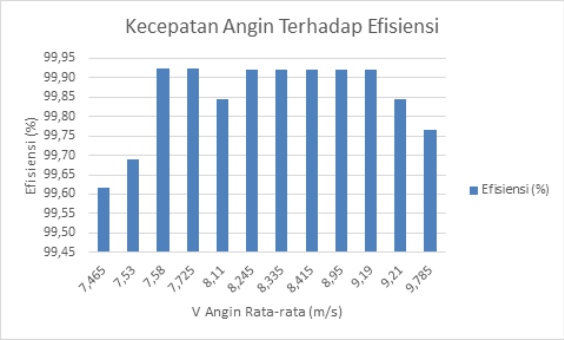
Pada Gambar 11, Grafik menunjukkan bahwa efisiensi sistem pompa torak tetap sangat tinggi meskipun kecepatan angin berubah-ubah. Nilai efisiensi berada di kisaran 99,69% hingga 99,92%, dan tidak ada penurunan besar yang berarti. Pada beberapa kecepatan angin, seperti 8,28 m/s, 8,725 m/s, 8,775 m/s, 9,045 m/s dan 9,3 m/s, efisiensi mencapai nilai tertinggi yaitu 99,92%. Sedangkan nilai efisiensi terendah, yaitu 99,77%, terjadi pada kecepatan 8,535 m/s, 9,005 m/s dan 9,25 m/s.

2. Sistem pemipaan bentuk 2



Gambar 12. Hubungan kecepatan angin terhadap debit output pemipaan bentuk 2

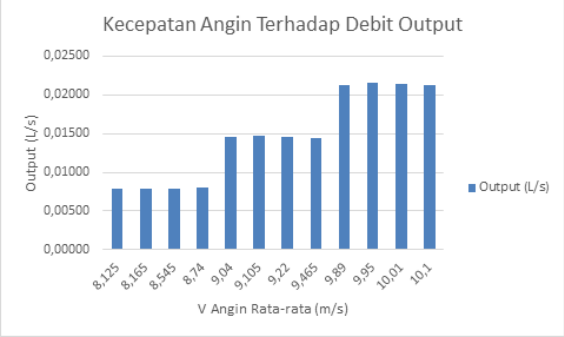
Pada Gambar 12, grafik menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka debit air yang dihasilkan juga semakin besar. Pada kecepatan angin di bawah 8,2 m/s, debit air masih kecil, yaitu di bawah 0,007 L/s. Namun saat kecepatan angin naik ke sekitar 8,2 hingga 8,4 m/s, debit mulai meningkat hingga sekitar 0,012 L/s. Debit paling tinggi terjadi saat kecepatan angin mencapai 8,95 hingga 9,785 m/s, yaitu lebih dari 0,020 L/s.



Gambar 13. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi pemipaan bentuk 2

Pada Gambar 13, grafik menunjukkan bahwa efisiensi sistem pompa torak tetap sangat tinggi meskipun kecepatan angin berubah-ubah. Nilai efisiensi berada di kisaran 99,62% hingga 99,92%, dan tidak ada penurunan besar yang berarti. Pada beberapa kecepatan angin, seperti 7,58 m/s, 7,725 m/s, 8,245 m/s, 8,335 m/s, 8,415 m/s, 8,95 m/s, dan 9,19 m/s, efisiensi mencapai nilai tertinggi yaitu 99,92%. Sedangkan nilai efisiensi terendah, yaitu 99,62%, terjadi pada kecepatan 7,465 m/s.

3. Sistem pemipaan bentuk 3



Gambar 14. Hubungan kecepatan angin terhadap debit output pemipaan bentuk 3

Pada Gambar 14, grafik menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka debit air yang dihasilkan juga semakin besar. Pada kecepatan angin di bawah 9,04 m/s, debit air masih kecil, yaitu di bawah 0,008 L/s. Namun saat kecepatan angin naik ke sekitar 9,04 hingga 9,465 m/s, debit mulai meningkat hingga sekitar 0,014 L/s. Debit paling tinggi terjadi saat kecepatan angin mencapai 9,89 hingga 10,1 m/s, yaitu lebih dari 0,021 L/s. Meskipun ada sedikit penurunan pada kecepatan 10,1 m/s.

Gambar 15. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi pemipaan bentuk 3

Pada Gambar 15, grafik menunjukkan bahwa efisiensi sistem pompa torak tetap sangat tinggi meskipun kecepatan angin berubah-ubah. Nilai efisiensi berada di kisaran 99,69% hingga 99,92%, dan tidak ada penurunan besar yang berarti. Pada beberapa kecepatan angin, seperti 8,125 m/s, 9,04 m/s, 9,105 m/s, 9,22 m/s, 9, 465 m/s, dan 9,89 m/s, efisiensi mencapai nilai tertinggi yaitu 99,92%. Sedangkan nilai efisiensi terendah, yaitu 99,69%, terjadi pada kecepatan 8,165 m/s, 9,95 m/s, dan 10,01 m/s.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengujian, dan analisis, dapat disimpulkan bahwa tiga variasi sistem pemipaan yang dibedakan berdasarkan panjang pipa horizontal memiliki efisiensi sangat tinggi, dengan nilai tertinggi mencapai 99,92%. Efisiensi terendah yang dapat dihasilkan pada pemipaan bentuk 1 adalah 99,77%, bentuk 2 sebesar 99,62% dan bentuk 3 sebesar 99,69%. Debit terbesar dihasilkan oleh pemipaan bentuk 3, yaitu sebesar 0,02151 L/s. Hal ini menunjukkan bahwa panjang pipa berpengaruh terhadap performa aliran. Selain faktor teknis, Faktor manusia, seperti ketelitian dalam pembacaan alat ukur, juga turut memengaruhi hasil efisiensi. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan pengujian dilakukan langsung di lapangan agar hasil lebih akurat. Pada sistem pompa, penggunaan roda gigi dapat membantu menjaga kestabilan debit, sementara batang penggerak piston sebaiknya dibuat dari bahan *stainless steel* agar lebih tahan karat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sudan A, Tay E, Yousif A, Eldany AO. The 1st Scientific Conference for Aerospace Researches & Simulation and Implementation of Moving Platform for Flight Simulator. 2021.

2. Pan CT, Sun PY, Li HJ, Hsieh CH, Hoe ZY, Shiue YL. Development of Multi-Axis Crank Linkage Motion System for Synchronized Flight Simulation with VR Immersion. Appl Sci. 2021;11(8). doi:10.3390/app11083596.
3. Nofriandi M. Pembuatan Simulator Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Posisi Menggunakan Arduino Berbasis PC. 2014.
4. Salim Y. Rancang Bangun Platform Gerak untuk Simulator Pesawat Udara: Perancangan Pemrograman Arduino. 2024.
5. Wibowo SS. Rancang Bangun Servo Putar Berbasis Arduino dengan Hukum Kendali PID. 2024.
6. Eduardus Benyamin HKFP. Pengendalian Stewart Platform untuk Flight Simulator Berbasis Arduino. 2016.
7. Mikić V, Gligorijević M, Zlatković DM, Ilić M. Performance Analysis of C# Programming Language in Visual Studio 2017, 2019, and 2022. 2023. Available: https://www.researchgate.net/publication/368874837
8. Hidayat I. Validasi Model Simulator Combat Pesawat Tempur SU-30MK2 Melalui Rekonstruksi Lintas Terbang. 2017.
9. Saragih RR. Pemrograman dan Bahasa Pemrograman. 2018. Available: https://www.researchgate.net/publication/329885312
10. Wibowo SS. Modul Pelatihan X-Plane: Pembuatan Plugin X-Plane, Komunikasi Real-Time dengan MATLAB, dan Komunikasi Real-Time dengan Aplikasi Khusus. 2017.
11. Sudan S, Djoni IMA. Perancangan Pompa Torak 3 Silinder untuk Injeksi Lumpur Kedalaman 10000 FT dengan Debit 500 GPM. J Sains Seni POMITS. 2013;2(2):197–201.
12. Muttaqin I, Suprapto M. Pembuatan Turbin Angin Savonius Bertingkat Berbahan Alumunium. J Ind Eng Oper Manage. 2021;4(1). doi:10.31602/jieom.v4i1.5444.
13. Napitupulu FH, Mauritz F. Uji Eksperimental dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan dan Jumlah Sudu terhadap Daya dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius dengan Menggunakan Sudu Pengarah. J Dinamis. 2013;II(12).
14. Kurniawan A, Saragih B, Hasballah. Analisa Perancangan Mesin Pompa Air Dangkal untuk Kebutuhan Skala Rumah Tangga. J Teknol Mesin UDA. 2021;2(2):17–21.
15. Ardiatama B, Tiyasmihadi T, Budianto. Rancang Bangun Mesin Turbin Angin Vertikal Savonius sebagai Penggerak Pompa Air.
16. Widodo S, Suharno K, Salahudin X. Analisis Aliran Air dalam Pipa Bercabang (Junction).
17. Saini MK. Difference between Horizontal Axis and Vertical Axis Wind Turbines. Sep. 2022. Accessed: Dec. 19, 2024. Available: https://www.tutorialspoint.com/difference-between-horizontal-axis-and-vertical-axis-wind-turbines
18. Sagita IO. Pengertian Mekanika Fluida dan Persamaaan yang Digunakan. Jun. 2024. Accessed: Dec. 19, 2024. Available: https://ishakoktasagita.com/blog/teknik-engineering/pengertian-mekanika-fluida/#content
19. Jamilatulain. Pengertian Sistem Perpipaan. Sep. 2024. Accessed: Dec. 19, 2024. Available: https://redasamudera.id/pengertian-sistem-perpipaan/
20. Rucika. Head Loss pada Instalasi Pipa. Nov. 2018. Accessed: Dec. 19, 2024. Available: https://www.rucika.co.id/head-loss-pada-instalasi-pipa/
21. Puspawan A. Analisa Rugi-Rugi Aliran Instalasi Pipa dan Pompa Rectprocating di PT. Pertamina EP-Region Area Prabumulih Provinsi Sumatera Selatan. Bengkulu. 2013.
22. Brusca S, Lanzafame R, Messina M. Flow Similitude Laws Applied to Wind Turbines through Blade Element Momentum Theory Numerical Codes. Int J Energy Environ Eng. 2014;5(4):313–322. doi:10.1007/s40095-014-012