

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi hidrolik merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pembangkit listrik. Turbin hidrolik adalah salah satu komponen kunci dalam sistem pembangkit listrik tenaga air yang mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Namun, efisiensi dan produktivitas lengan sprinkler dapat dipengaruhi oleh desain dan karakteristiknya, termasuk desain lengan sprinkler dan penggunaan arm nozzle. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh desain lengan sprinkler dengan arm nozzle terhadap torsi yang dihasilkan pada generator sangatlah relevan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pembangkit listrik tenaga air.

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh karakteristik lengan sprinkler dengan arm nozzle terhadap torsi yang dihasilkan pada generator?
2. Apakah variasi desain arm nozzle memiliki dampak yang signifikan terhadap torsi yang dihasilkan pada generator?
3. Bagaimana keterkaitan antara karakteristik lengan sprinkler dan arm nozzle dengan efisiensi pembangkit listrik tenaga air?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini akan membatasi cakupan pada:

1. Analisa pengaruh besar daya yang masuk pada pompa untuk menghasilkan putaran pada sprinkler yang berpebgaruh dengan hasil keluarnya daya pada generator listrik.
2. Analisis pengaruh desain lengan turbin dengan arm nozzle terhadap torsi yang dihasilkan pada generator.
3. Eksperimen pada prototipe lengan turbin dengan variasi desain arm nozzle untuk mengukur torsi yang dihasilkan pada generator.
4. Fokus pada aplikasi dalam pembangkit listrik tenaga air.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh karakteristik daya yang di masukkan dengan daya yang keluar dari generator listrik terhadap torsi yang dihasilkan pada generator.
2. Mempelajari keterkaitan antara karakteristik lengan sprinkler dan arm nozzle dengan efisiensi pembangkit listrik tenaga air.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berikut:

1. Pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh desain lengan sprinkler dengan arm nozzle terhadap kinerja generator pada pembangkit listrik tenaga air.
2. Informasi yang berguna bagi industri pembangkit listrik untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas sistem pembangkit listrik tenaga air.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengenalan tentang Sistem Sprinkle

Sistem Sprinkler adalah alat untuk menyiram tanaman dengan menyemburkan air dari bawah ke atas sehingga dapat menyirami tanaman di lahan yang luas secara merata. Dalam sistem irigasi biasa, 50% air yang digunakan untuk irigasi yang digunakan untuk tanaman, dan sisanya terbuang percuma.

Pada dasarnya, sistem sprinkler terdiri dari jaringan pipa yang terhubung ke sumber air dan dilengkapi dengan sprinkler head yang terpasang di seluruh area yang ingin dilindungi. Sprinkler head ini didesain untuk melepaskan air secara otomatis ketika mendeteksi suhu yang tinggi, biasanya akibat adanya kebakaran.

Ketika suhu di sekitar sprinkler head mencapai ambang batas yang ditentukan, sprinkler head tersebut akan melepaskan air. Air yang keluar dari sprinkler head kemudian diarahkan ke area kebakaran untuk memadamkan atau mengendalikan api.

Sistem sprinkler memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Respon Cepat: Sprinkler akan segera merespon ketika terjadi kebakaran, membantu mencegah penyebaran api dengan cepat.
2. Efektif: Air yang dikeluarkan oleh sprinkler dapat secara efektif memadamkan kebakaran atau setidaknya mengendalikannya sehingga memungkinkan waktu bagi orang untuk keluar dari bangunan.
3. Otomatis: Sistem sprinkler bekerja secara otomatis, sehingga tidak memerlukan intervensi manusia untuk mengaktifkannya.
4. Penggunaan Air yang Efisien: Sprinkler hanya melepaskan air di area yang

terkena panas tinggi, sehingga penggunaan airnya lebih efisien dibandingkan dengan metode pemadam kebakaran lainnya.

5. Kerugian yang Lebih Kecil: Karena sistem sprinkler merespon secara cepat, kerugian akibat kebakaran biasanya lebih kecil dibandingkan dengan kebakaran yang tidak terkontrol.

Meskipun sistem sprinkler memiliki banyak keunggulan, penting untuk merawat dan memelihara sistem ini secara teratur untuk memastikan bahwa ia akan berfungsi dengan baik ketika dibutuhkan.

2.2. Persamaan Momentum Sudut

Persamaan momentum linear berguna dalam menentukan berguna dalam menentukan hubungan antara momentum linier aliran dan gaya resultan. Banyak masalah teknik yang melibatkan momen momentum linier aliran aliran, dan efek rotasi yang ditimbulkannya. Masalah seperti itu paling baik dianalisis dengan persamaan momentum sudut, yang juga disebut persamaan momen momentum. Kelas penting perangkat fluida, yang disebut mesin turbo, yang mencakup pompa sentrifugal, turbin, dan kipas, dianalisis dengan persamaan momentum sudut.

Momen gaya F_y terhadap titik O adalah hasil kali vektor (atau salib)

$$\text{Momen suatu gaya : } M = r \times F$$

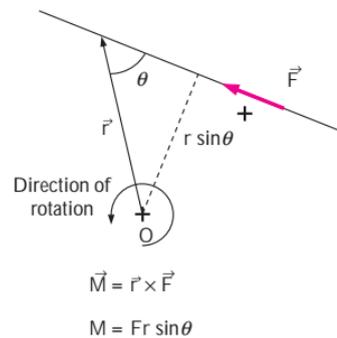
Dimana r adalah vektor posisi dari titik O ke sembarang titik pada garis. Hasil kali aksi dari aksi vektor dua buah vektor adalah vektor yang garis-garisnya in F adalah normal pada bidang yang memuat vektor-vektor yang bersilangan dan F (dalam hak ini) dan yang besarnya adalah :

$$\text{Besaran momen suatu gaya : } M = Fr \sin \theta$$

Dimana θ adalah sudut antara garis kerja vektor-vektor r Oleh karna itu, dan F besar momen terhadap titik O sama dengan besar gaya dikalikan jarak normal garis kerja gaya dari titik tersebut O . Pengertian vektor momen M di tentukan oleh aturan tangan kanan : ketika jari-jari tangan kanan dilengkungkan ke arah gaya yang cenderung menyebabkan rotasi, ibu jari menunjukkan arah vektor momen. Perhatikan bahwa gaya yang garis kerjanya melalui titik O menghasilkan momen nol terhadap titik O . dengan vektor momentum $m\vec{V}$ memberikan

Menggantikan *momen momentum* vektor F , disebut juga *momentum sudut*, di sekitar titik O as

Momen momentum (sistem): $\vec{H} = \vec{r} \times m\vec{V}$



Gambar 2. 1 Momen gaya F tentang O adalah produk vektor r dan F

Oleh karena itu, $r \rightarrow \rho V \rightarrow$ mewakili momentum sudut per satuan massa, dan momentum sudut suatu $\vec{H}_{sys} = \int_{sys} (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV$ massa diferensial dm ! $r dV$ adalah $dH \rightarrow$! $(r \rightarrow \rho V \rightarrow) r dV$. Kemudian momentum sudut suatu sistem ditentukan oleh integrasi menjadi

Momen momentum (sistem):

Laju perubahan momen momentum adalah

Laju perubahan momen momentum $\frac{d\vec{H}_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{sys} (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV$

Persamaan momentum sudut suatu sistem: $\sum \vec{M} = \frac{d\vec{H}_{sys}}{dt}$

Dimana $\sum \vec{M} = \sum (\vec{r} \times \vec{F})$ adalah torsi bersih yang diterapkan pada sistem, yaitu jumlah vektor momen semua gaya yang bekerja pada sistem, dan $d\vec{H}_{sys}/dt$ adalah laju perubahan momentum sudut sistem.

Laju perubahan momentum sudut suatu sistem sama dengan torsi total yang bekerja pada sistem. Persamaan ini valid untuk kuantitas massa tetap dan kerangka acuan inersia, yaitu suatu acuan rangka yang diam atau bergerak dengan kecepatan tetap pada lintasan lurus.

Rumusan umum volume kendali persamaan momentum sudut diperoleh dengan menetapkan $b = \vec{r} \times \vec{V}$ dan $B = \vec{H}$ dengan demikian secara umum Teorema transpor Reynolds.

$$\frac{dH_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt} \int cv (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV + \int cs (\vec{r} \times \vec{V}) \rho (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$$

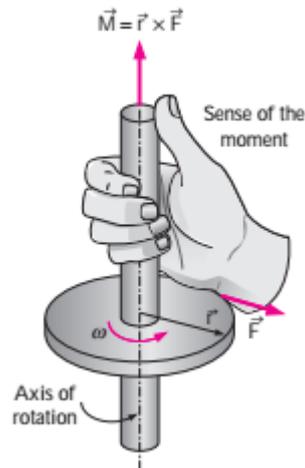
Sisi kiri persamaan ini adalah, sama dengan $\sum \vec{M}$. Menggantinya, persamaan momentum sudut untuk volume kendali umum (diam atau bergerak, bentuk tetap atau terdistorsi) diperoleh

$$\sum \vec{M} = \frac{d}{dt} \int cv (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV + \int cs (\vec{r} \times \vec{V}) \rho (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$$

Sekali lagi $\vec{V}_r = \vec{V} - \vec{V}_{cs}$ adalah kecepatan fluida relatif terhadap permukaan kontrol (untuk digunakan dalam penghitungan laju aliran massa di semua lokasi di mana fluida melintasi adalah kecepatan permukaan kontrol) fluida jika di lihat dari referensi tetap. Produk $\rho (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$ mewakili laju aliran massa melalui dA masuk atau keluar dari volume kontrol, tergantung pada tandanya.

Untuk volume kendali tetap (tidak ada gerakan atau deformasi volume kendali) $\vec{V}_r = \vec{V}$ dan persamaan momentum sudut menjadi :

$$\sum \vec{M} = \frac{d}{dt} \int cv (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV + \int cs (\vec{r} \times \vec{V}) \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA$$



Gambar 2. 2 Penentuan arah momen dengan aturan tangan kanan.

Perhatikan juga bahwa gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali terdiri dari *gaya-gaya benda* yang bekerja pada seluruh benda volume kendali seperti gaya gravitasi, dan *gaya-gaya permukaan* yang bekerja pada permukaan kendali seperti tekanan dan gaya-gaya reaksi pada titik-titik kontak. Torsi bersih terdiri dari momen gaya-gaya ini serta torsi yang diterapkan pada volume kendali.

2.3. Pembangkit Listrik dari Sistem Penyiram

Alat penyiram rumput berukuran besar dengan empat lengan yang identik akan diubah menjadi turbin untuk menghasilkan tenaga listrik dengan memasang generator pada kepala putarnya. Air memasuki sprinkler dari dasar sepanjang sumbu rotasi dengan kecepatan 20 L/s dan meninggalkan nozel dalam arah tangensial. Alat penyiram berputar dengan kecepatan 300 rpm pada bidang

horizontal atau m 2 Diameter tiap pancaran adalah 1 cm, dan jarak normal antara sumbu rotasi dengan pusat tiap nosel adalah 0,6 m. Perkirakan daya listrik yang dihasilkan.

SOLUSI :

Alat penyiram berlingan empat digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Untuk laju aliran dan kecepatan putaran tertentu, daya yang dihasilkan harus ditentukan.

ASUMSI :

1. Aliran stabil secara siklis (yakni, stabil dari kerangka acuan yang berputar bersama kepala sprinkler).
2. Air dibuang ke atmosfer, sehingga tekanan pengukur pada saluran keluar nosel adalah nol.
3. Rugi-rugi generator dan hambatan udara pada komponen yang berputar diabaikan.
4. Diameter nosel lebih kecil dibandingkan dengan lengan momen, sehingga kami menggunakan nilai rata-rata radius dan kecepatan pada saluran keluar.

Sifat : Kita ambil massa jenis air menjadi 1000 kg/m^3 1 kg/L

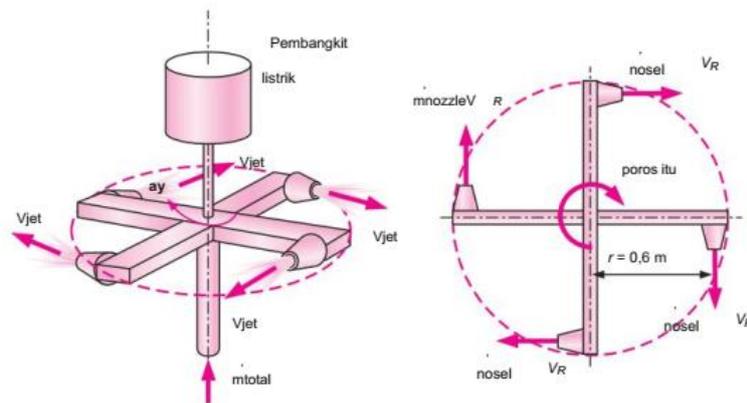
ANALISIS :

Kami mengambil disk yang membungkus lengan sprinkler sebagai kontrolnya volume, yang merupakan volume kontrol stasioner.

Persamaan kekekalan massa untuk sistem aliran tunak ini adalah $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{total}$ Perhatikan bahwa keempat nosel itu identik, kita mempunyai $\dot{m}_{nozzle} = \dot{m}_{total}/4$ atau $V_{nozzle} = V_{total}/4$ karena massa jenis air.

Jet rata-rata kecepatan keluar relatif terhadap nosel adalah :

$$V_{jet} = \frac{V_{nozzle}}{A_{jet}} = \frac{5 \text{ L/s}}{[\pi(0.01 \text{ m})^2/4]} \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 63.66 \text{ m/s}$$



Gambar 2. 3 Skema dan diagram benda bebas dari putaran sprinkle

Kecepatan sudut dan tangensial nosel adalah :

$$\omega = 2\pi\dot{n} = 2\pi(300 \text{ rev/min}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 31.42 \text{ rad/s}$$

$$V_{nozzle} = r\omega = (0.6)(31.42 \text{ rad/s}) = 18.85 \text{ m/s}$$

Artinya, air di dalam nosel juga bergerak dengan kecepatan 18,85 m/s dengan arah berlawanan saat dibuang. Kemudian menjadi kecepatan rata-rata pancaran air relatif terhadap volume kontrol (atau relatif terhadap lokasi tetap di bumi).

$$V_r = V_{jet} - V_{nozzle} = 63.66 - 18.85 = 44.81 \text{ m/s}$$

Mengingat bahwa ini adalah masalah aliran tunak secara siklis, dan semua gaya serta aliran momentum berada pada bidang yang sama, persamaan momentum sudut dapat diperkirakan $\sum M = \sum_{out} rmV - \sum_{in} rmV$ sebagai dimana r adalah momennya lengan, semua momen yang berlawanan arah jarum jam adalah positif, dan semua momen yang searah jarum jam adalah negatif.

Diagram benda bebas dari piringan yang berisi lengan sprinkler. Perhatikan bahwa momen semua gaya dan aliran momentum yang melalui sumbu rotasi adalah nol. Momentum mengalir melalui pancaran air yang meninggalkan nosel menghasilkan momen searah jarum jam dan pengaruh generator pada volume kendali adalah momen juga searah jarum jam (sehingga keduanya negatif). Maka persamaan momentum sudut terhadap sumbu rotasi menjadi :

$$-T_{shaft} = -4rm_{nozzle}V_r \quad \text{or} \quad T_{shaft} = rm_{total}V_r$$

Mengganti, torsi yang di transmisikan melalui poros di tetukan :

$$T_{shaft} = rm_{total}V_r = (0.6 \text{ m}) \left(20 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(44.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}\right) = 537.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{since } m_{total} = \rho V_{total} = (1 \text{ kg/L})(20 \text{ L/s}) = 20 \text{ kg/s}.$$

Maka tenaga yang dihasilkan menjadi :

$$W = 2\pi n T_{shaft} = \omega T_{shaft} = (31.42 \text{ rad/s})(537.7 \text{ N} \cdot \text{m}) \left(\frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ N} \cdot \text{m/s}}\right) = 16.9 \text{ kW}$$

Sebab, turbin jenis sprinkler ini berpotensi menghasilkan daya sebesar 16,9 kW

Pembahasan :

Untuk menempatkan hasil yang diperoleh dalam perspektif, kami mempertimbangkan dua kasus yang membatasi. Dalam kasus pembatas pertama, sprinkler macet sehingga kecepatan sudutnya nol. Torsi yang dikembangkan akan maksimum dalam hal ini karena $V_{nozzle} = 0$ dan $V_r = V_{jet} = 63,66 \text{ m/s}$, menghasilkan T_{shaft} , maks $764 \text{ N} \cdot \text{m}$. Namun daya yang dihasilkan akan menjadi nol karena poros tidak berputar.

Dalam kasus pembatas kedua, poros diputuskan sambungannya dari generator (sehingga baik torsi maupun pembangkitan daya adalah nol) dan poros

mengalami percepatan hingga mencapai kecepatan kesetimbangan. Pengaturan Tshaft 0 dalam persamaan momentum sudut menghasilkan $V_r = 0$ dan dengan demikian $V_{jet} = V_{nozzle} = 63,66 \text{ m/s}$. Kecepatan sudut sprinkler yang sesuai adalah :

$$\dot{n} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{V_{nozzle}}{2\pi r} = \frac{63.66 \text{ m/s}}{2\pi(0.6 \text{ m})} \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 1013 \text{ rpm}$$

Pada rpm ini, kecepatan pancaran akan menjadi nol relatif terhadap pengamat di bumi (atau relatif terhadap volume kontrol berbentuk cakram tetap yang dipilih). Variasi daya yang dihasilkan dengan kecepatan sudut diplot. Perhatikan bahwa tenaga yang dihasilkan meningkat seiring bertambahnya rpm, mencapai maksimum (dalam kasus ini sekitar 500 rpm), dan kemudian menurun. Daya sebenarnya yang dihasilkan akan lebih kecil dari ini karena ketidak efisienan generator.

Pada materi ini terutama membahas tentang kekekalan momentum untuk volume kendali berhingga. Gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali terdiri dari *gaya-gaya benda* yang bekerja pada seluruh benda volume kendali (seperti gaya gravitasi, listrik, dan magnet) dan *gaya-gaya permukaan* yang bekerja pada permukaan kendali (seperti tekanan). gaya dan gaya reaksi pada titik kontak).

2.4. Pengertian dan Spesifikasi Generator Listrik Pada Sprinkler

Generator listrik pada sprinkler adalah komponen penting dalam sistem pemadam kebakaran otomatis. Mereka dirancang khusus untuk memberikan pasokan listrik cadangan yang diperlukan untuk menjaga operasionalitas sistem sprinkler bahkan saat terjadi pemadaman listrik dari sumber utama.

Berikut adalah beberapa pengertian dan spesifikasi umum generator listrik pada sprinkler:

1. Daya Output

Generator listrik mini pada sprinkler biasanya memiliki daya output yang cukup untuk menjalankan pompa air dan sistem sprinkler. Kapasitas daya ini biasanya disesuaikan dengan kebutuhan spesifik sistem sprinkler yang dipasang.

2. Bahan Bakar

Mereka biasanya menggunakan bahan bakar yang dapat diandalkan dan mudah diakses, seperti bensin, diesel, atau gas alam. Pemilihan jenis bahan bakar dapat dipertimbangkan berdasarkan ketersediaan dan keandalan di lokasi instalasi.

3. Kekuatan dan Kompak

Karena ukurannya harus sesuai dengan kebutuhan sistem sprinkler, generator listrik mini ini biasanya dirancang dengan kekuatan yang cukup untuk menyediakan daya tanpa memakan terlalu banyak ruang. Mereka seringkali dirancang dalam bentuk yang kompak dan mudah dipasang.

4. Otomatisasi

Generator listrik mini pada sprinkler sering kali dilengkapi dengan fitur otomatisasi, yang memungkinkan mereka untuk diaktifkan secara otomatis ketika detektor pemadam kebakaran mendeteksi adanya kebakaran atau ketika terjadi pemadaman listrik. Fitur ini memastikan bahwa sistem sprinkler tetap beroperasi bahkan tanpa intervensi manual.

5. Keandalan

Keandalan generator ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem pemadam kebakaran dapat berfungsi sebagaimana mestinya dalam situasi darurat.

Oleh karena itu, generator listrik mini pada sprinkler harus dirawat dengan baik dan diuji secara berkala untuk memastikan kinerjanya yang optimal.

6. Proteksi dan Keamanan

Fitur proteksi terhadap kelebihan beban, overheat, dan kegagalan sistem lainnya sering kali dimasukkan dalam desain generator listrik mini pada sprinkler untuk menjaga keamanan operasional.

7. Biaya

Biaya generator listrik mini pada sprinkler dapat bervariasi tergantung pada merek, model, dan spesifikasi. Namun, biaya ini seringkali dianggap sebagai investasi yang penting untuk menjaga keamanan dan keandalan sistem pemadam kebakaran.

Pemilihan generator listrik mini yang sesuai untuk sistem sprinkler harus memperhitungkan kebutuhan daya, jenis bahan bakar yang tersedia, serta faktor keandalan dan keamanan.