

Effect of Finned Rod Configuration On Heat Dissipation In A Motorized Ball Valve (MBV) Firstname Lastname^{1,*}, Anes Inda Rabbika, Muki Satya Permana², Hery Sonawan³¹ Anes Inda Rabbika [Mechanical Engineering], [Muhammadiyah University of Tasikmalaya], [Tasikmalaya] [46196], [Indonesia];² Muki Satya Permana [Mechanical Engineering], [Pasundan University], [Bandung] [40154], [Indonesia];³ Hery Sonawan [Mechanical Engineering], [Pasundan University], [Bandung] [40154], [Indonesia];^{*}Corresponding author: anes.ir@umtas.ac.id; Tel.: 085156801100

Abstract: Motorized Ball Valve (MBV) adalah bagian penting dari sistem perpipaan industri karena memiliki kemampuan untuk mengontrol aliran fluida secara otomatis. Panas dari fluida sistem yang bekerja pada suhu tinggi dapat merambat dari badan valve ke batang penghubung dan kemudian ke motor aktuator. Rambatan panas ini dapat menyebabkan temperatur komponen elektrik pada aktuator meningkat, yang dapat menurunkan keandalan sistem dan mempercepat kerusakan komponen. Akibatnya, ada kebutuhan akan mekanisme pendinginan pasif yang memiliki kemampuan untuk menurunkan suhu sebelum panas mencapai aktuator. Konfigurasi batang bersirip mempengaruhi kemampuan pelepasan panas (MBV). Fokus penelitian adalah proses pembuatan batang bersirip dan pengujian eksperimen dengan panas dari mini boiler. Batang bersirip terbuat dari alloy aluminium 6061-T6 yang mudah dibuat dan sangat konduktif terhadap panas. Dimulai dengan pemotongan bahan, pembubutan, pengeboran, dan pemasangan sirip pada batang utama, proses pembuatan dimulai. Jenis konfigurasi sirip yang berbeda yang digunakan adalah hasil dari metode desain faktorial. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan oleh mini boiler. Sebaliknya, distribusi suhu di seluruh batang diukur dengan sensor thermocouple tipe-K yang terhubung ke sistem akuisisi data. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa mekanisme konduksi pada batang dan konveksi alami permukaan sirip menyebabkan suhu sepanjang batang bersirip secara bertahap menurun dari sisi MBV ke arah aktuator. Sistem batang bersirip dapat menghasilkan gradien suhu yang signifikan sepanjang batang dengan tekanan 0.8 bar dan temperatur sumber panas 116.39 °C. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi sirip memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai perbedaan temperatur (T), yang menunjukkan bahwa konfigurasi sirip memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas sistem untuk mengeluarkan panas dari lingkungannya. Menurut hasil penelitian, batang bersirip yang dipasang pada pompa bola motor dapat membantu mengontrol suhu tinggi sistem pompa industri.

Kata kunci: saluran bola mekanis, batang bersirip, perpindahan panas, eksperimen termal.

1. Introduction

MBV adalah komponen penting dalam sistem perpipaan industri yang berfungsi untuk mengontrol aliran fluida secara otomatis. MBV banyak digunakan pada berbagai sistem energi dan proses industri karena memiliki karakteristik resistansi aliran yang relatif rendah dan kemampuan untuk mengendalikan aliran dengan presisi. Pada sistem yang beroperasi dengan fluida bertemperatur tinggi, seperti sistem boiler atau sistem uap industri, pa Mekanisme konduksi pada material padat dan konveksi antara permukaan komponen dan fluida lingkungan adalah bagian dari fenomena perpindahan panas yang terjadi pada komponen mekanik sistem perpipaan [3], [4]. Apabila tidak ada mekanisme pelepasan panas yang memadai selama operasi pada temperatur tinggi, panas yang merambat sepanjang batang penghubung valve dapat terakumulasi pada bagian aktuator. Oleh karena itu, pengendalian temperatur komponen valve sangat penting untuk menjaga stabilitas sistem dan meningkatkan umur pakai komponen. Sirip, atau fin, sebagai permukaan yang diperluas adalah teknik yang umum digunakan untuk meningkatkan pelepasan panas. Meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, sirip meningkatkan laju pelepasan panas melalui mekanisme konveksi ke lingkungan [5], [6]. Akibatnya, teknologi sirip telah banyak digunakan dalam berbagai sistem termal, seperti penukar panas, radiator kendaraan, sistem pendinginan elektronik, dan sistem pemulihan panas buang [7], [8].



This work is licensed under a Creative Commons
 Attribution-ShareAlike 4.0 International.

DOI: <https://doi.org/10.24853/sintek.xx.x.xx-xx>

Received date; Revised date; Accepted date

Jumlah sirip, panjang, dan diameter sirip dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi, dan meningkatkan gradien temperatur sepanjang permukaan perpindahan panas [9], [10]. Studi sistem sirip menunjukkan bahwa konfigurasi geometri sirip dapat meningkatkan bilangan Nusselt dan efisiensi perpindahan panas dibandingkan dengan permukaan tanpa sirip [14], [15]. Studi numerik dan eksperimen juga menunjukkan bahwa meningkatkan jumlah sirip, jarak antar sirip, dan tinggi sirip dapat meningkatkan kinerja termal sistem secara signifikan [16], [17]. Teknologi sirip telah banyak digunakan pada perangkat pendingin dan sistem penukar panas. Namun, ide sirip masih terbatas pada bagian mekanik sistem valve industri. Kajian tentang pelepasan panas dari komponen mekanik ke lingkungan melalui sirip eksternal masih jarang dilakukan. Sebaliknya, sebagian besar penelitian sebelumnya berkonsentrasi pada peningkatan perpindahan panas pada fluida di dalam pipa atau heat exchanger [19]. Selain itu, meskipun MBV banyak digunakan dalam sistem perpipaan yang bekerja pada temperatur tinggi, penelitian tentang manajemen termal pada komponen ini masih sangat terbatas [20]. Dengan mempertimbangkan kondisi ini, penelitian ini mengusulkan penggunaan batang bersirip yang terintegrasi dengan bola bola motor sebagai mekanisme pendinginan pasif. Dalam hal ini, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan sirip sebagai bagian pendinginan sendiri, penelitian ini mengintegrasikan sirip secara langsung pada batang yang menghubungkan bola bola dan aktuator motor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi batang bersirip terhadap kemampuan pelepasan panas pada MBV. Proses fabrikasi batang bersirip dilakukan selain melakukan pengujian eksperimen menggunakan sistem mini boiler sebagai sumber panas. Variasi konfigurasi sirip termasuk jumlah sirip, panjang sirip, dan diameter sirip. Variasi ini dievaluasi untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi sirip terhadap distribusi temperatur dan k Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu mengembangkan sistem pendinginan pasif untuk bagian valve industri. Selain itu, penelitian ini akan memperluas ide tentang peningkatan perpindahan panas melalui sirip pada bagian mekanik sistem perpipaan yang bekerja pada temperatur tinggi.

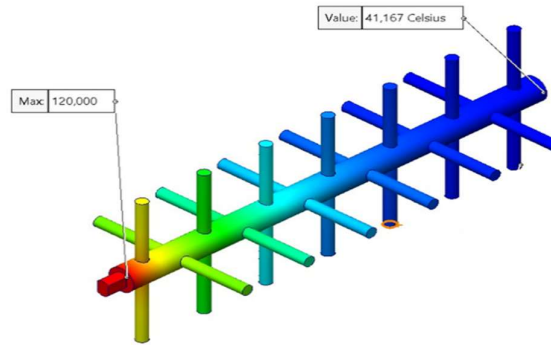
2. Methods

Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini untuk melihat bagaimana konfigurasi batang bersirip mempengaruhi pelepasan panas pada sistem bola putar MBV. Pendekatan ini didasarkan pada prinsip perpindahan panas melalui mekanisme konduksi pada material padat dan konveksi alami pada permukaan sirip, yang telah dibahas dalam penelitian sebelumnya [1], [2]. Untuk mengintegrasikan elemen sirip secara langsung pada batang penghubung antara badan valve dan aktuator motor, desain geometri batang sirip disesuaikan. Karena konduktivitas termalnya yang tinggi dan kemudahan pembuatannya, batang bersirip dibuat dengan menggunakan alloy aluminium 6061-T6. Geometri sirip yang digunakan berbentuk rod-fin dan memiliki variasi parameter geometris seperti jumlah sirip (N), panjang sirip (L), dan diameter sirip (D). Variasi parameter ini disusun menggunakan metode desain faktorial, dan delapan konfigurasi sirip (F1–F8) digunakan untuk menilai dampak perubahan geometri terhadap kemampuan pelepasan panas sistem. Fabrikasi batang bersirip mencakup pemotongan material, pembubutan batang utama, pengeboran lubang untuk pemasangan sirip, dan penerapan metode interference fit untuk menjamin kontak termal yang baik antara sirip dan batang utama. Sistem mini boiler digunakan sebagai sumber panas untuk pengujian eksperimen. MBV, batang bersirip, dan aktuator motor dihubungkan ke sistem. Panas dari fluida uap yang mengalir melalui MBV merambat ke batang sirip melalui mekanisme konduksi. Kemudian, konveksi alami pada permukaan sirip melepaskannya ke lingkungan. Temperatur sensor thermocouple tipe-K digunakan untuk mengukur distribusi temperatur sepanjang batang. Sensor ini dipasang pada beberapa titik pengamatan dan disambungkan ke sistem akuisisi data untuk merekam temperatur secara kontinu. Pengujian dilakukan dengan mengubah tekanan operasi mini boiler dari 0,8 hingga 1,1 bar. Sistem dijalankan pada setiap kondisi tekanan hingga mencapai kondisi steady state sebelum temperatur dicatat. Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui distribusi temperatur sepanjang batang dan perbedaan temperatur (ΔT) antara sisi klep motor dan sisi aktuator. Terakhir digunakan sebagai indikator kemampuan klep bersirip untuk meningkatkan pelepasan panas sistem.

3. Results and Discussion

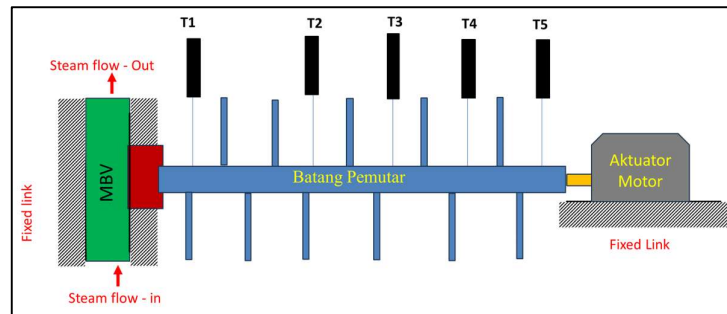
3.1 Pembuatan dan Setting Eksperimen

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah alloy aluminium 6061-T6, bahan ini dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang relatif tinggi, yang memungkinkan untuk menghantarkan panas dari sumber panas ke permukaan sirip [1], [2]. Parameter geometris diketahui memengaruhi karakteristik perpindahan panas sistem sirip [3], [4].



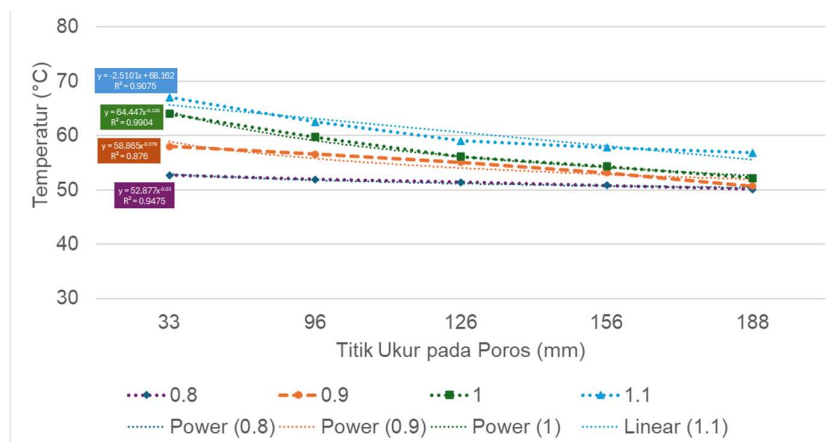
Gambar 4. Panjang batang utama 200 mm dan diameter 12.7 mm dan banyaknya sirip 26 buah, Panjang sirip 5 mm dan diameter sirip 3 mm

eksperimen batang bersirip dilakukan menggunakan mini MED boiler lalu ada komponen yang dihubungkan dengan motorized ball valve (MBV), batang bersirip, dan motor aktuator. Sensor yang digunakan pada penelitian ini Adalah thermocouple tipe-K untuk mengukur temperatur sepanjang batang. Sensor ini dipasang pada beberapa titik pengamatan dan disambungkan ke sistem akuisisi data.



Gambar 5. Set Up Eksperimen

Sistem pengukuran ini memungkinkan pencatatan temperatur secara kontinu, yang memungkinkan analisis distribusi temperatur sepanjang batang yang lebih akurat. Teknik pengukuran temperatur dengan sensor multi-titik seperti ini telah banyak digunakan dalam penelitian eksperimen perpindahan panas untuk mengevaluasi distribusi temperatur pada sistem termal [5], [6].



Perdistribusi Temperatur yang tersebar di sepanjang poros motorized ball valve (MBV) pada berbagai rasio konfigurasi batang bersirip (0,8; 0,9; 1, dan 1,1) ditunjukkan pada grafik. Secara umum, suhu menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber panas (33–188 mm), menunjukkan bahwa panas dilepaskan sepanjang poros melalui mekanisme konduksi dan konveksi ke lingkungan. Konfigurasi dengan rasio 1,1 menunjukkan suhu tertinggi di dekat sumber panas, sekitar 68 °C pada jarak 33 mm, kemudian turun menjadi sekitar 56 °C pada

jarak 188 mm. Konfigurasi dengan rasio 0,8 menunjukkan suhu yang lebih renggang, sekitar Pada seluruh konfigurasi, pola penurunan temperatur mengikuti tren fungsi pangkat, atau garis tenaga, dengan koefisien determinasi (R^2) yang tinggi ($\approx 0,95-0,99$), yang menunjukkan hubungan yang kuat antara distribusi suhu dan jarak titik ukur. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi konfigurasi batang bersirip mempengaruhi sifat pelepasan panas pada poros MBV; lebih banyak rasio konfigurasi cenderung meningkatkan suhu awal tetapi tetap menghasilkan gradien suhu yang lebih rendah sepanjang poros. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa sirip dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dengan meningkatkan luas permukaan perpindahan panas [9], [10]. Parameter perbedaan temperatur (T) antara sisi batang sirip motor dan sisi aktuator digunakan untuk melihat bagaimana konfigurasi sirip memengaruhi kinerja pelepasan panas. Kemampuan batang sirip untuk menurunkan temperatur sebelum panas mencapai aktuator ditunjukkan oleh nilai T . Ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan perpindahan panas pada sistem bersirip dapat meningkatkan laju perpindahan panas secara signifikan [12], [13]. Studi ini menemukan bahwa menggunakan sirip sebagai permukaan yang diperluas dapat meningkatkan pelepasan panas secara signifikan. Penemuan ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan sirip pada permukaan perpindahan panas dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dan meningkatkan efektivitas sistem pendinginan [15], [16]. Studi tentang sistem tabung bersirip menemukan bahwa, jika dibandingkan dengan permukaan tanpa sirip, luas permukaan perpindahan panas dapat meningkatkan bilangan Nusselt dan kinerja perpindahan panas [17], [18]. Selain itu, penelitian tentang konveksi alami pada permukaan bersirip juga menemukan bahwa aliran udara yang disebabkan oleh efek buoyancy memainkan peran yang signifikan dalam meningkatkan pelepasan panas dari sistem [19]. Namun, sirip digunakan pada sistem penukar panas atau perangkat pendingin elektronik. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menerapkan gagasan sirip pada bagian mekanik sistem saluran industri. Dengan memasukkan sirip secara langsung ke dalam batang penghubung MBV, ada cara baru untuk mengendalikan panas pada bagian valve yang beroperasi pada temperatur tinggi [20]. Penelitian ini menemukan bahwa konfigurasi batang bersirip memainkan peran penting dalam meningkatkan pelepasan panas dari MBV. Karena luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar, sistem dapat menurunkan temperatur sebelum panas mencapai aktuator motor, yang menunjukkan bahwa batang bersirip dapat berfungsi sebagai mekanisme pendinginan pasif yang efektif untuk sistem bola batang industri. Pendekatan pendinginan pasif berbasis sirip memiliki beberapa keunggulan, termasuk tidak memerlukan energi tambahan, desainnya yang relatif sederhana, dan mudah diintegrasikan dengan komponen mekanik yang sudah ada. Oleh karena itu, penerapan batang sirip pada sistem perpipaan MBV dapat meningkatkan keandalan sistem perpipaan industri yang beroperasi pada temperatur tinggi.

4. Conclusions

Studi ini melihat bagaimana konfigurasi batang bersirip memengaruhi kemampuan pelepasan panas pada sistem MBV. Penelitian ini menemukan bahwa penerapan batang bersirip dapat meningkatkan pelepasan panas dengan meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, yang berarti temperatur yang merambat menuju aktuator dapat dikurangi secara signifikan. Mekanisme konduksi pada batang dan konveksi alami pada permukaan sirip memainkan peran penting dalam proses disipasi panas, seperti yang ditunjukkan oleh distribusi temperatur sepanjang batang. Gradien temperatur menurun dari sumber panas ke ujung batang. Menurut analisis konfigurasi sirip, elemen geometris seperti jumlah sirip, panjang sirip, dan diameter sirip memengaruhi nilai perbedaan temperatur (ΔT). Konfigurasi sirip tertentu mampu menghasilkan penurunan temperatur yang lebih besar daripada konfigurasi lainnya karena memiliki luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem batang bersirip dapat berfungsi sebagai mekanisme pendinginan pasif yang efektif untuk mengendalikan temperatur bagian motorized ball valve yang bekerja dalam lingkungan yang sangat panas. Fokus utama penelitian ini adalah penemuan ide tentang batang bersirip yang dapat diintegrasikan secara langsung ke dalam sistem valve industri untuk meningkatkan pelepasan panas tanpa menggunakan energi tambahan. Metode ini menawarkan alternatif desain yang sederhana namun efektif untuk meningkatkan keandalan sistem perpipaan industri yang bekerja dalam lingkungan yang sangat panas.

Acknowledgments

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Magister Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung karena telah memberikan bantuan dengan fasilitas laboratorium dan lingkungan akademik yang memungkinkan penelitian ini dilakukan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan ilmiah dan masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

Conflict of Interest

Tidak ada konflik kepentingan, kata penulis.

References

