

Analisa numerik pengaruh diameter *perforate* terhadap perpindahan panas dan penurunan tekanan pada saluran segi empat 4:1 menggunakan *perforated groove v- rib*

Khairul Umurani¹, Arya Rudi Nasution¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia
Email korespondensi: khairulumurani@umsu.ac.id

Abstrak

Dalam saluran pendingin internal bilah turbin gas, struktur rusuk banyak digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi dengan aliran pendingin yang melewati permukaan rusuk. Kajian ini berkonsentrasi pada V-rib berlubang dengan alur pada saluran pendingin dengan penampang persegi panjang. Kajian ini menganalisis perpindahan panas dan penurunan tekanan pada saluran segi empat dengan alur v-rib berlubang untuk memberikan solusi pendingin sudu turbin gas. Kajian ini dilakukan dengan analisis numerik. Beberapa model dibuat dan dianalisis menggunakan Solidworks Flow Simulation, sebuah komputasi dinamika fluida komersial (CFD) berdasarkan metode volume hingga. Solidworks Flow Simulation Solver untuk menganalisis aliran laminar dan turbulen menggunakan persamaan Reynolds rata-rata Navier-Stokes. Menggunakan persamaan transportasi yang sama untuk aliran laminar dan turbulen memberikan fleksibilitas. Turbulensi dalam aliran diperlakukan menggunakan energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasi turbulensi (ω) menggunakan model turbulensi $k-\omega$ standar. Bilangan Reynolds 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000. Dengan memberikan panas 1000 Watt di bagian bawah saluran, kondisi udara pada suhu saluran masuk adalah 30 oC dan tekanan 1 atm. Pada rezim aliran $2000 < Re < 20.000$, konstruksi rib berlubang secara signifikan meningkatkan angka Nusselt dibandingkan tanpa rib. Koefisien gesekan untuk konfigurasi rusuk padat lebih tinggi daripada rusuk berlubang.

Kata kunci: govee, rusuk berlubang, perpindahan panas, koefisien gesekan

Abstract

In the internal cooling ducts of the gas turbine blades, the rib structure is widely used to enhance convective heat transfer with the flow of coolant passing through the rib surface. This research concentrates on the perforated V-rib with grooved in the cooling channel with a rectangular cross-section. This research analyzes the heat transfer and pressure drop in the rectangular channel with a perforated groove v-rib to provide the cooling blade gas turbine solution. This research was conducted by numerical analysis. Several models were created and analyzed using Solidworks Flow Simulation, a commercial computational fluid dynamics (CFD) based on the finite volume method. Solidworks Flow Simulation Solver to analyze laminar and turbulent flow using the Reynolds averaged Navier-Stokes equation. Using the same transport equations for laminar and turbulent flows provides flexibility. Turbulence in the flow is treated using turbulent kinetic energy (k) and turbulence dissipation rate (ω) using the standard $k-\omega$ turbulence model. The Reynolds numbers 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000. By giving 1000 Watts of heat at the bottom of the channel, the air condition at the inlet temperature is 30 oC and a pressure of 1 atm. In the flow regime of $2000 < Re < 20,000$, perforated rib construction significantly increases the Nusselt number compared to no rib. The coefficient of friction for the solid rib configuration is higher than for the rib with holes.

Keywords: Grovee, perforated rib, heattransfer, coefficient of friction

1. Pendahuluan

Tingginya harga dan menipisnya persediaan bahan bakar fosil memaksa para enjiner berusaha keras untuk meningkatkan efisiensi termal turbin gas. Salah satu caranya adalah meningkatkan suhu udara masuk kedalam turbin. Turbin gas generasi saat ini beroperasi pada suhu yang sangat tinggi untuk menghasilkan keluaran daya yang tinggi. Suhu pengoperasian turbin sering kali mendekati titik leleh material sudu. Paparan suhu tinggi untuk jangka waktu yang lama menyebabkan tekanan termal

mengakibatkan kerusakan pada sudu jika tidak dikelola secara efektif. Oleh karena itu, pendinginan sudu turbin yang optimal adalah sangat penting untuk mencegah kegagalan yang parah dan untuk meningkatkan keluaran daya. Sudu turbin didinginkan secara eksternal dan internal dengan mengalirkan sebagian kecil udara bertekanan dari tingkat akhir kompresor. Rib sering digunakan dalam lintasan pendinginan internal sudu turbin untuk menambah perpindahan panas dengan mengalirkan udara pendingin melalui lintasan berrib internal. Penggunaan rib atau elemen yang memberikan

kekasaran aliran dapat menghasilkan peningkatan perpindahan panas akan tetapi selalu diikuti dengan penurunan tekanan. Disamping itu juga dengan pemberian rib akan terbentuk daerah panas di bagian hilir rib ini terbentuk akibat dari pemisahan aliran dan resirkulasi, dapat menyebabkan perpindahan panas yang lebih rendah. Penggunaan turbulator dalam berbagai bentuk rib sekat, sayap delta, rintangan, generator pusaran, cincin, dan blok/penyekat berlubang merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan kinerja penukar panas dan pemanas udara surya. Perforasi pada rib/baffle/blok dan kombinasi rib dan sayap delta menyebabkan peningkatan kinerja termo-hidrolik [1]. Rib berbentuk V 60° memberikan peningkatan perpindahan panas. panas 7% lebih tinggi dari rib V 45°, 28% lebih tinggi dari rib berbentuk W dan 35% lebih tinggi dari rib berbentuk M. Akan tetapi penurunan tekanan untuk rib berbentuk V adalah 19% lebih tinggi dari rib V45°, 24% lebih tinggi dari rib berbentuk W dan 28% lebih tinggi dari rib berbentuk M. Kinerja hidraulik termal rib berbentuk V dan rib 45° jauh lebih baik daripada rib berbentuk W dan M [2].

Rib terpotong menghasilkan pusaran melintang di celah pemotongan dan mengurangi aliran resirkulasi di belakang rib. Peningkatan pencampuran aliran berkontribusi pada peningkatan perpindahan panas. Dengan pengaturan rib berselang seling menyebabkan jalur aliran menjadi lebih kompleks dan campuran aliran semakin ditingkatkan. Rib terpotong menjanjikan untuk aplikasi dalam saluran sudu turbin rasio aspek tinggi dan faktor peningkatannya sekitar 10% [3]

Rib berlubang miring memiliki faktor gesekan yang lebih rendah dan perpindahan panas lokal yang meningkat ke hilir dari rib berlubang karena benturan aliran seperti jet dibandingkan dengan rib padat. sudut kemiringan lubang yang optimal adalah 15° memberikan faktor kinerja termal maksimum. Faktor gesekan berkurang sedikit dan jumlah rata-rata Nusselt meningkat secara bertahap dengan peningkatan jumlah Reynold untuk rib berlubang miring [4]. Singh et.al telah melakukan pengujian secara numerik perpindahan panas yang kemudian divalidasi dan dibandingkan dengan eksperimen tentang peran aliran sekunder, energi kinetik turbulen, dll., Perpindahan panas meningkat karena keberadaan rib [5]. Lubang perforasi yang lebih lebar menunjukkan kinerja terbaik di semua kasus. Nuntadusit dkk [6] melakukan visualisasi aliran dari enam balok berlubang (terbuat dari akrilik) dan diperiksa efek kemiringan lubangnya dan letak lubang terhadap karakteristik perpindahan panas. Dalam kasus rib padat, aliran tidak terpisah dan tidak kembali saat rasio pitch kurang dari 7, sedangkan untuk rasio pitch relative lebih besar dari 7, aliran reattachment terjadi di antara rib berurutan yang menghasilkan aliran resirkulasi, tepat di bagian bawah rib. Untuk meningkatkan efisiensi turbin gas, diperlukan

pendekatan yang sama. Ini untuk meningkatkan suhu turbin saluran masuk. Untuk memungkinkan perancang turbin gas untuk meningkatkan suhu turbin masuk sambil mempertahankan suhu yang dapat diterima untuk struktur, metode pendinginan lanjutan sedang dikembangkan. Saluran yang memiliki rib banyak digunakan untuk pendinginan internal bilah turbin. Dalam beberapa tahun terakhir, saluran menggunakan rib biasanya digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas konvektif dengan membuat aliran antara dua baris rib yang berdekatan dan dengan menginduksi aliran sekunder. Semua permasalahan yang ingin dicapai adalah peningkatan perpindahan panas yang tinggi dan penurunan tekanan yang rendah. Namun hal tersebut belum dapat dicapai secara memuaskan seperti perpindahan panas yang tinggi namun diiringi dengan kenaikan penurunan tekanan dimana hal ini tidak diinginkan karena akan menambah daya untuk memompakan udara didalam saluran. Studi mengenai perforated groove V- rib belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya telah memperhatikan banyak parameter konfigurasi saluran berrib seperti bentuk rib rasio aspek, rasio nada (p/e), rasio penyumbatan (e/Dh), sudut serang tulang rib (α), kemiringan tulang rib dimana diharapkan dari kajian ini menjadi jawaban untuk permasalahan yang selama ini muncul. Untuk mengatasi masalah tersebut diatas yaitu bagaimana meningkatkan perpindahan panas tetapi juga dapat menurunkan penurunan tekanan adalah dengan perforated groove V- rib maka perlu dilakukan kajian yang dapat menghasilkan informasi-informasi berguna untuk pengembangan ilmu pengetahuan tentang rib berperforasi. Adapun tujuan kajian ini adalah untuk menyelidiki perpindahan panas turbulen saluran pendingin internal dengan perforated groove V- rib dengan diameter lubang perforasi yang berbeda yang ditunjukkan dalam korelasi baru untuk rasio peningkatan jumlah bilangan Nusselt, rasio faktor gesekan Darcy dan indeks efisiensi dalam hal bilangan. Saluran yang diuji dirancang sebagai saluran persegi panjang dengan rasio aspek tinggi dengan perforated groove V- rib yang ditempatkan di dinding bawah pada saluran persegi panjang dengan rasio aspek tinggi (4: 1) Pejelasan fisik kinerja termal keseluruhan untuk semua kasus. dibandingkan berdasarkan model turbulensi $k-\omega$, detail aliran untuk memberikan penjelasan fisik dari hasil eksperimen. Kajian eksperimental dan numerik diperlukan untuk menyelidiki efek yang ditimbulkan oleh permukaan yang kasar dengan perforated groove V- rib terhadap perpindahan panas lokal yang berubah secara cepat dan kompleks disebabkan oleh perpindahan panas konveksi paksa mendorong terjadinya peningkatan tegangan termal dan memengaruhi umur komponen mesin. Sehingga dibutuhkan studi yang terperinci tentang perpindahan panas lokal dan penurunan tekanan untuk mencegah terjadinya tegangan termal dalam mendesain komponen yang digunakan dalam

kondisi lingkungan yang panas. Perpindahan panas dan penurunan tekanan pada konfigurasi rib

Turbulensi mendorong sublapisan viskos dan memungkinkan udara bercampur di dalam sub lapisan viskos di dekat permukaan dengan aliran udara yang lebih cepat dari lapisan batas luar, yang mengarah pada perpindahan panas. Peningkatan perpindahan panas diperlukan untuk meningkatkan kinerja termal suatu peralatan teknik. Kekasaran buatan secara luas dikenal sebagai teknik peningkatan perpindahan panas pasif di mana kinerja termohidraulik dari pemanas dapat dilakukan ditingkatkan. Saat udara mengalir melalui saluran pemanas udara surya, sub laminar lapisan terbentuk di atas permukaan absorber yang menghalangi perpindahan panas ke udara yang mengalir, dengan demikian mempengaruhi kinerja termal peralatan pemanas atau pendingin. Untuk mencapai koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi, diperlukan kekasaran buatan untuk membuat turbulensi aliran pada permukaan pemindahan panas. Jadi pelat absorber yang dibuat kasar secara buatan dianggap sebagai metodologi yang baik untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas karena memecah sub lapisan laminar untuk mengurangi ketahanan termal. Hambatan, seperti baffle, sirip atau rib telah lama digunakan di beberapa sistem termal, seperti penukar panas penyekat segmental, penukar panas kompak, pengumpul udara surya pelat datar, mikroelektronika, dan berbagai aplikasi industri lainnya, karena beban termalnya yang tinggi dan parameter struktural yang berkurang. Hambatan terutama digunakan untuk mengubah arah bidang aliran, mengubah distribusi koefisien perpindahan panas lokal, dan meningkatkan tingkat turbulensi, menghasilkan perpindahan panas yang lebih signifikan antara fluida dan dinding yang dipanaskan [7]. Kekasaran buatan dapat dikembangkan dengan menggunakan permukaan bergelombang yang meningkatkan karakteristik perpindahan panas dengan menghancurkan dan mendestabilisasi lapisan batas termal [8]

Penggunaan rib pada saluran mendorong menghasilkan turbulensi untuk meningkatkan perpindahan panas didalam saluran. Bhosale & Selokar dalam kajiannya secara numerik dan eksperimental mengenai rib bentuk sepatu beralur terpotong di bawah konveksi paksa untuk meningkatkan kinerja termal dengan rib kontinyu. Hasil kajian eksperimen menunjukkan kesesuaian dengan hasil numerik dan mendapatkan peningkatan perpindahan panas yang lebih tinggi dari hasil kajian terdahulu [9]. Yang et al. melakukan studi eksperimental pada karakteristik perpindahan panas pada saluran berrib pada rasio penyumbatan tinggi. Mereka menemukan bahwa koefisien perpindahan panas dari rib tersusun simetris lebih tinggi dari pada rib selang seling, tetapi kehilangan tekanan dari rib tersusun simetris lebih besar dari pada rib susunan yang selang seling [10].

Peningkatan perpindahan panas pada solar air heater (SAH) di atas permukaan dapat ditingkatkan dengan menempatkan elemen kekasaran buatan yaitu rib pada permukaan absorber [11]. Pemanas udara surya dengan rib gabungan menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan rib individu dengan nilai 1,86 sebagai nilai optimal dari berbagai parameter yang diteliti [12]. Meningkatkan kinerja termal dari pendinginan internal dengan menempatkan rib celah konvergen dan divergen. Zheng et.al melakukan kajian terhadap lima model geometris yang berbeda, termasuk celah rib persegi panjang dan celah trapesium dengan berbagai sudut konvergen dan divergen yang memberikan hasil terjadinya peningkatan perpindahan panas dan peningkatan kehilangan tekanan yang terbatas [13]. Dalam lintasan pendinginan internal di sudu turbin, penggunaan rib diterapkan secara luas untuk meningkatkan perpindahan panas konvektif oleh pendingin yang melewati permukaan berrib. Penggunaan rib berforasi dengan lubang miring telah diteliti oleh Liu et al yang menunjukkan bahwa ruangan miring memiliki angka Nusselt (Nu) rata-rata keseluruhan yang sedikit lebih besar daripada kasing lurus sekitar 1,85-4,94 persen. Nu rata-rata di setengah bagian dari arah miring ditingkatkan untuk kotak lubang miring. Ketika sudut kemiringan lebih besar, arus yang ditembus didorong ke arah miring, dan pencampuran dengan arus yang terjadi tepat di sisi arah miring [14]. Aliran seperti jet yang menimpa permukaan rib berlubang miring secara signifikan meningkatkan perpindahan panas pada sisi hilir dari rib dibandingkan dengan rib yang berlubang lurus dan padat, menghasilkan kinerja perpindahan panas keseluruhan yang tinggi [6]. Rasool & Qayoum dalam kajiannya menyatakan penggunaan turbulator rib meningkatkan perpindahan panas di saluran pendingin sudu turbin gas. Rib berlubang menyebabkan peningkatan distribusi perpindahan panas lokal (Nu/Nuo) di dinding ujung hilir rib. Rib yang berlubang mengembangkan pusaran longitudinal. Pusaran ini menyebabkan peningkatan aliran pencampuran dan energi kinetik yang kacau. Rib berlubang persegi memberikan peningkatan perpindahan panas rata-rata 37,1 sampai 57,3 persen lebih tinggi dari rib padat, tetapi menyebabkan penurunan tekanan tinggi. Secara keseluruhan, rib berlubang persegi memberikan kinerja termal-hidrolik terbaik [15]. Perpindahan panas turbulen secara spasial dan gesekan pada rasio lebar-tinggi persegi panjang 4: 1 dengan rib persegi panjang berlubang yang terlepas dari satu dinding. Kinerja termal dari rib tipe padat yang terlepas ditemukan lebih tinggi dari pada rib tipe berlubang yang terlepas [16]. Metode pendinginan yang menggunakan susunan sirip-pin, penyumbatan berlubang, dan rib bersudut digunakan untuk mendinginkan bagian dalam dari tepi trailing. Pengaruh distribusi aliran pada saluran memperlihatkan karakteristik perpindahan panas dan tekanan, keseragaman perpindahan panas

ditingkatkan ketika penyumbatan berlubang dikombinasikan dengan susunan sirip jarum [17]. Karakteristik perpindahan panas rib berlubang miring dalam rasio terhadap rasio persegi panjang telah dianalisa secara simulasi numerik. Rib berlubang miring memiliki faktor gesekan yang lebih rendah dan perpindahan panas lokal yang meningkat segera ke hilir dari rib berlubang karena benturan aliran seperti jet dibandingkan dengan rib padat sudut kemiringan lubang yang optimal adalah 15° [18]. Nuntadusit et. al telah melakukan kajian mengenai pengaruh sudut perforasi / kemiringan lubang ($\Delta = 0^\circ, 15^\circ$ dan 30°) dan lokasi lubang rib ($h = 0.2H, 0.5H$ dan $0.8H$). Hasilnya menunjukkan bahwa, aliran seperti jet yang menimpa permukaan, rib berlubang miring secara signifikan meningkatkan perpindahan panas segera ke bagian hilir dari rib dibandingkan dengan yang berlubang lurus dan rib padat, sehingga menghasilkan kinerja perpindahan panas keseluruhan yang tinggi [6]. Perpindahan panas pada zona separasi di depan dan belakang rib berlubang persegi panjang tunggal yang dipasang pada pelat datar menimbulkan zona stagnan dan resirkulasi di depan dan di belakang rib yang berlubang menjadi lebih kecil atau menghilang [19]. Beberapa bentuk rib yang berbeda telah dipelajari untuk meningkatkan laju perpindahan panas dan mengurangi kehilangan tekanan total, yaitu rib persegi, berlubang, segitiga dengan peningkatan ketinggian arah aliran, rib segitiga dengan penurunan tinggi arah aliran dan profil busur setengah lingkaran. Kinerja rib yang berbeda diselidiki pada bilangan Reynolds 14.200. Rib segitiga dengan ketinggian yang semakin tinggi searah aliran terbukti memberikan kinerja termal terbaik, memberikan perpindahan panas sekitar 5 persen lebih banyak daripada profil persegi dasar [20]. Pertimbangan penghematan energi dan material, serta insentif ekonomi, mengarah pada upaya yang dilakukan untuk menghasilkan peralatan penukar panas yang lebih efisien. Untuk meningkatkan laju perpindahan panas ke udara yang mengalir di saluran pemanas udara surya dan penukar panas dari berbagai generator turbulensi. rib baffle dan sayap delta dianggap teknik yang efektif [21]. Bilangan Nusselt lokal dalam saluran persegi panjang dengan penyekat padat dan berlubang miring. sangat bergantung pada posisi, orientasi, dan geometri pelat sekat kedua. Rasio faktor gesekan meningkat dengan bertambahnya jumlah Reynolds, tetapi nilainya tergantung pada susunan sekat. Seperti sekat miring tunggal dan saluran yang dipasang di rib kehilangan kepala gesekan jauh lebih tinggi untuk dua baffle miring [22]. Pengaruh parameter geometris blok V berlubang terhadap perpindahan panas dan karakteristik aliran dari saluran persegi telah diselidiki secara eksperimental dalam kisaran Reynolds dari 2000 hingga 20.000. Peningkatan bilangan Nusselt dan faktor gesekan maksimum masing-masing sebesar 6,76 dan 28,84 kali dari saluran tanpa hambatan. [23]. Turbulator berbentuk lingkaran dan V dipasang pada pelat

absorber SAH yang dimodifikasi dalam enam konfigurasi berbeda. Eksperimen diperluas dengan sisipan tipe-V dalam bentuk cembung (tipe-e) dan cekung (tipe-f) untuk menciptakan gerakan turbulensi tambahan. Hasil kajian menunjukkan bahwa efisiensi sistem meningkat dengan bertambahnya jumlah dan jumlah turbulator [24]. Pengaruh lubang perforasi non-lingkaran dalam hal sirkularitas balok berbentuk V yang menempel pada satu dinding yang dipanaskan dari saluran pemanas udara surya persegi panjang. Lubang perforasi berbentuk non-lingkaran yang menghasilkan nilai bilangan Nusselt yang maksimum; lubang lingkaran sempurna secara signifikan lebih rendah daripada lubang non-lingkaran dengan non-lingkaran yang cukup besar Non-lingkaran ($\psi = 0,69$). Peningkatan nilai bilangan Nusselt pada rasio 1,13 ditemukan ketika lubang perforasi melingkar diganti dengan lubang persegi panjang berbentuk lingkaran sebesar 0,69 [25].

Pendinginan internal dengan menempatkan rib celah konvergen dan divergen, celah rib persegi panjang dan celah trapesium dengan berbagai sudut konvergen dan divergen. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa intensitas turbulensi berada pada level tertinggi pada kasus dengan sudut celah trapesium terkecil, yang menghasilkan tingkat peningkatan perpindahan panas tertinggi dan tingkat kehilangan tekanan tertinggi karena peningkatan perpindahan panas dan peningkatan terbatas pada kehilangan tekanan [13]. 45. Pemberian lubang pada pembangkit vorteks. Dapat memberikan efek terhadap penurunan tekanan yang relatif lebih rendah [27].

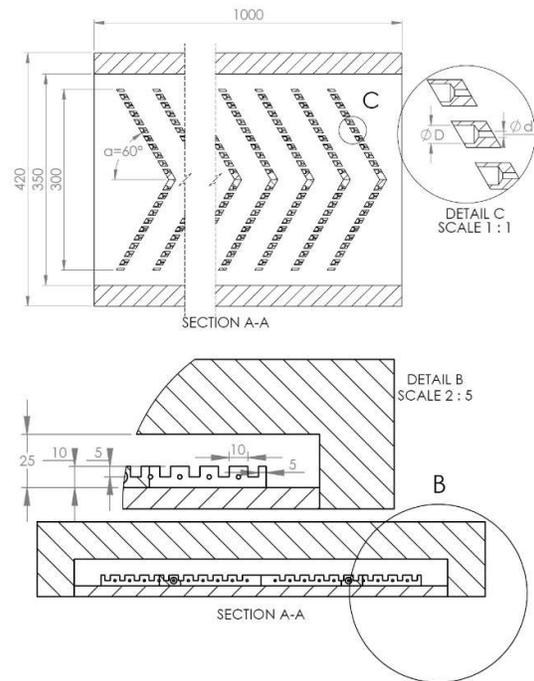
Analisa Numerik

Beberapa model dibuat dan dianalisis menggunakan Solidworks Flow Simulation, komputasi fluida dinamika komersial (CFD) berdasarkan metode volume hingga. Solidworks Flow Simulation Solver mampu menganalisis aliran laminar dan turbulen menggunakan persamaan Navier-Stokes rata-rata Reynolds. Menggunakan persamaan transportasi yang sama untuk aliran laminar dan turbulen yang memberikan fleksibilitas untuk menggunakannya dalam aliran transisi juga Turbulensi dalam aliran diperlakukan menggunakan energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasi turbulensi (ϵ) menggunakan model turbulensi k- ϵ standar. Adapun tujuan kajian ini adalah untuk menyelidiki perpindahan panas turbulen saluran pendingin internal dengan perforated groove V- rib dengan diameter lubang perforasi yang berbeda yang ditunjukkan dalam korelasi baru untuk rasio peningkatan jumlah bilangan Nusselt, rasio faktor gesekan Darcy. Saluran yang diuji dirancang sebagai saluran persegi panjang dengan perforated groove V-rib yang ditempatkan di dinding bawah saluran persegi Panjang. Menjelaskan kinerja termal keseluruhan untuk semua kasus berdasarkan model turbulensi k- ω , detail aliran untuk memberikan penjelasan fisik.

2. Metode

Kondisi Batas

Pada kajian ini aliran model seperti Gambar 1 adalah aliran internal, yaitu aliran di dalam model, kondisi batas aliran: pada sisi inlet model dan outlet diketahui. Model dikenakan sifat aliran dinamis yaitu, arah aliran arah aksial. Pada saluran masuk (Z=0) dimana panjang pemanas (L1 = 1000 mm) dikenakan kecepatan seragam mulai dari 0,943 m/s, 0,4 m/s, 0,8 m/s 1 m/s, 5m/s, 10 m/s, 15 m/s dan 20 m/s. Temperatur fluida 30 oC, Tekanan pada sisi outlet adalah tekanan atmosfer 101325 Pa. Dengan pembangkitan kalor tetap sebesar 1000 Watt dinding bawah. Parameter penelitian dapat dilihat pada table 1



Gambar 1. Bentuk V-Perforated Groove rib

Tabel 1. Parameter uji

No	Parameter	Range
1	Sudut Serang (α)	60°
2	Jarak relative (P/e)	6
3	Rasio luasan terbuka (β)	
4	Relative block height (e/H)	0.25,
5	Bilangan Reynold	2000, 4000, 6000, 8000,10.000, 12.000, 14.000, 16.000, 18.000,

Mesh

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD komersial SOLIDWORKS. Simulasi Aliran menerapkan persamaan Navier-Stokes, yang merupakan formulasi massa, momentum dan hukum konservasi energi untuk aliran fluida. Persamaannya dilengkapi oleh persamaan keadaan fluida mendefinisikan sifat fluida, dan oleh dependensi empiris dari densitas fluida, viskositas dan konduktivitas termal pada suhu. Simulasi Aliran menggunakan persamaan transportasi untuk energi kinetik turbulen dan laju disipasinya model k-ε. Simulasi Aliran menggunakan satu sistem persamaan untuk menggambarkan laminar dan turbulen mengalir.

Persamaan energi

$$\rho \nabla \cdot (u) = 0 \tag{1}$$

Persamaan momentum

$$\rho (u \cdot \nabla) u = \nabla \cdot [-pI + (\mu + \mu_t) \nabla u + (\nabla u)^T] \tag{2}$$

di mana:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3}$$

Persamaan Energi

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = -\nabla \cdot (k \nabla T) + Q \tag{4}$$

Persamaan energi kinetic turbulen

$$\rho (u \cdot \nabla) k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu T}{\sigma k} \right) \nabla k \right] + p_k - \rho \varepsilon \tag{5}$$

Persamaan disipasi ε

$$\rho (u \cdot \nabla) \varepsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu T}{\sigma \varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{e1} \frac{\varepsilon}{k} p_k - C_{e2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{6}$$

di mana:

$$P_k = \mu_t \left[\nabla u : (\nabla u + \nabla u^T) \right] + \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot u \tag{7}$$

$$C_\mu = 0,09 \quad \sigma_k = 1 \quad \sigma_\varepsilon = 1,3 \quad C_{e1} = 1,44 \quad C_{e2} = 1,92$$

Koefisien perpindahan panas

$$h = \frac{q''}{T_\infty - T_b} \tag{8}$$

Bilangan Nusselt

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \tag{9}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{Um \rho D_h}{\nu} \quad (10)$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (11)$$

Penguatan perpindahan panas

$$\eta = \frac{Nu}{Nu_0} \quad (12)$$

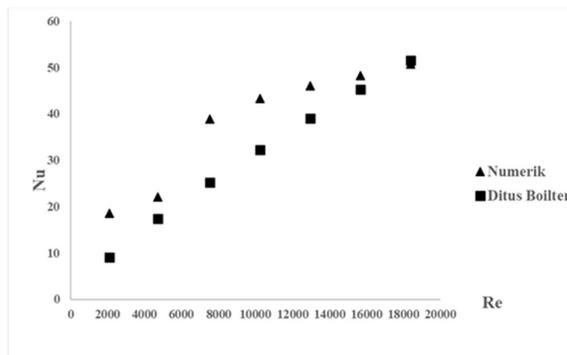
Faktor gesekan Darcy (f) dihitung diakibatkan oleh penurunan tekanan gesekan sepanjang saluran memiliki rib:

$$f = \left(\frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho U_m^2} \right) \frac{D_H}{L} \quad (13)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan hasil

Langkah pertama yang dilakukan dalam kajian ini adalah memastikan keadalan software dengan memeriksa kode komputer dan keakuratan metode numerik yang dilakukan. Untuk saluran menggunakan aliran turbulen didalam saluran segiempat mulus tanpa menggunakan rib, dengan kombinasi bilangan Reynold 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000. Dengan pemberian kalor 1000 Watt yang dibagian dasar saluran, kondisi udara pada saluran masuk temperatur 30 oC dan dan tekanan 1 atm. Seperti yang diamati pada bilangan Reynold tersebut, menunjukkan kedekatan hasil yang baik. Variasi bilangan Nusselt vs. bilangan Reynolds juga diprediksi saluran mulus dan dibandingkan dengan korelasi empiris Dittus-Boelter (Gbr. 2).

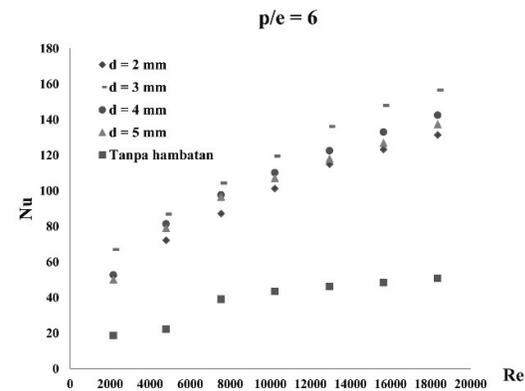


Gambar 2. Perbandingan hasil perhitungan Numerik dan persamaan Dittus boelter

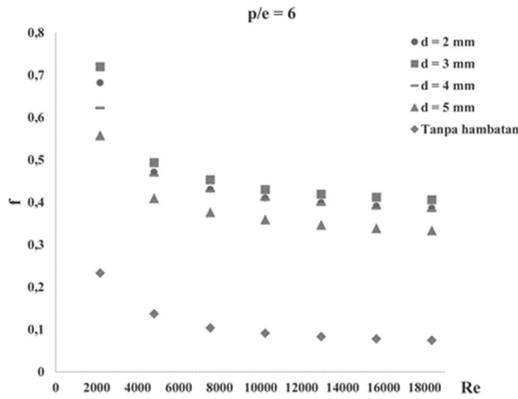
Pengaruh diameter nozzle terhadap perpindahan panas

Untuk memperlihatkan pengaruh diameter lubang perforasi pada perpindahan panas, variasi bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds mulai Re 2179, 4810, 7553, 10243, 12969, 15670, 18373 untuk diameter yang berbeda (d) 2, mm, 3mm, 4mm, 5mm untuk nilai tetap parameter lain yaitu, tinggi penyumbatan relatif (e/H) 0,4, pitch rasio (p/e) = 6

Gambar 1 sudut serang tetap (α)= 60° dan rasio area terbuka (b) 10% . Seperti yang terlihat pada Gambar 3. Nilai bilangan Nusselt maksimum terjadi pada diameter nozzle d = 3 mm yaitu dengan nilai minimum sebesar 66,82 dan maksimum 156,51 sedangkan Nilai Nu pada diameter nozzle 2 mm nilai minimum sebesar 52,11 dan maksimum sebesar 131,24 untuk bilangan Reynolds yang diamati. Bilangan Nusselt meningkat, mencapai maksimum, dan kemudian menurun dengan menurunnya diameter nozzle. Variasi bilangan Nusselt ini mungkin disebabkan karena: variasi dalam pencampuran fluida dan kekuatan serta lokasi reattachment aliran dari jet yang keluar dari nozzle. Distribusi perpindahan panas untuk saluran persegi dengan rib menunjukkan rentang variasi koefisien perpindahan panas rata-rata yang besar dibandingkan dengan saluran yang tanpa hambatan karena adanya interaksi aliran sekunder yang memotong aliran utama selain itu, koefisien perpindahan panas rata-rata pada rib ternyata lebih tinggi dari pada permukaan tanpa rib. Ketika bilangan Reynolds meningkat, pertukaran termal naik di mana hambatan aliran permukaan menjadi penting. Pencampuran lateral cenderung meningkat karena adanya nozzle dan groove. Namun, pencampuran lateral jet juga cenderung melemahkan kecepatan aksial menyebabkan intensitas arus pencampuran semakin besar. Terlihat bilangan Nusselt meningkat karena peningkatan diameter lubang nozzle yang dihasilkan dalam pencampuran jet sebelah yang lebih kuat. Penurunan lebih lanjut terjadi pada diameter nozzle 2 mm tampaknya melemah intensitas reattachment menghasilkan sedikit penurunan bilangan Nusselt dalam rentang diameter nozzle.



Gambar 3. Bilangan Reynold vs bilangan Nusselt Pengaruh diameter rib terhadap koefisien gesekan



Gambar 4. Bilangan Reynold vs Koefisien gesek

Peningkatan perpindahan panas di saluran yang kasar biasanya disertai dengan peningkatan penurunan tekanan, analisis kinerja yang komprehensif harus mencakup dampak dari rib turbulator pada penurunan tekanan saluran [26], [27] Gambar 4, menunjukkan pengaruh diameter nozzle pada faktor gesekan rata-rata. Keberadaan rib pada saluran menghasilkan faktor gesekan tinggi dari pada saluran tanpa hambatan karena rusuk menghasilkan drag tekanan yang disebabkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang rusuk. Hambatan tekanan atau gesekan berhubungan dengan intensitas turbulen terutama oleh resirkulasi.

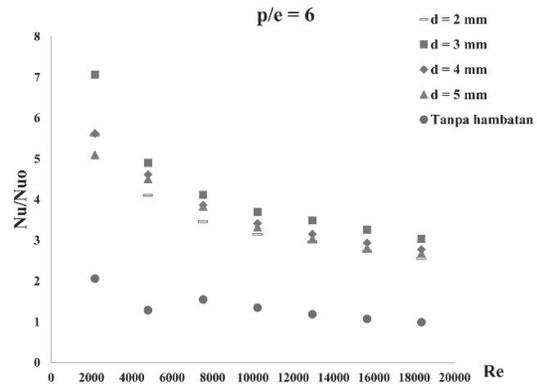
Dengan kata lain, faktor gesekan pada saluran dengan rib yang menghasilkan zona resirkulasi besar tinggi dan menjadi berkurang dengan berkurangnya ukuran zona resirkulasi. Diantara rib yang diperhatikan, diameter nozzle 3 mm menghasilkan faktor gesekan tertinggi sementara diameter nozzle 5 mm menghasilkan gesekan terendah. Perhatikan bahwa faktor gesekan permukaan tanpa rib menunjukkan koefisien gesekan yang terendah

Pengaruh diameter nozzle terhadap penguatan perpindahan panas (Nu/Nuo)

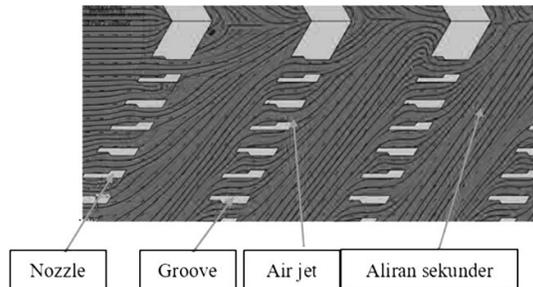
Perpindahan panas yang terjadi pada saluran segiempat hampir identik di bagian bawah atau atas dinding saluran untuk fluida gas, di mana efek gravitasi dapat diabaikan. Bilangan Normalisasi Nusselt (Nu/Nuo) adalah parameter yang digunakan untuk memprediksi penurunan heat transfer pada saluran. Umumnya, penggunaan rib di dalam saluran adalah untuk meningkatkan laju perpindahan panas dibandingkan dengan saluran tanpa rib. Jika Bilangan Normalisasi Nusselt (Nu/Nuo) kurang dari 1 berarti perpindahan panasnya buruk. Sebaliknya, jika lebih besar dari 1, kinerja perpindahan panas lebih baik. Dari Gambar 3 terlihat peningkatan penguatan perpindahan panas tertinggi sebesar 283.80 % pada diameter 3 mm pada Re 4000, secara umum terjadi penguatan perpindahan panas rata-rata 159,17% pada diameter 2 mm, 211,09% pada diameter 3 mm, 180,23% pada diameter 4mm, 169,59% diameter 5 mm. Dari Gambar 5 nilai Nu/Nuo menunjukkan

kecendrungan terjadinya penguatan perpindahan panas pada saluran yang memiliki rib, relatif terhadap saluran tanpa menggunakan rib dengan area perpindahan panas dan laju aliran massa yang sama. Tingkat peningkatan perpindahan panas menurun dengan Re, seperti yang biasanya terjadi pada saluran yang kasar hal ini sesuai dengan pernyataan [30].

Pada bilangan Reynolds tertinggi nilai, efek diameter pada kinerja perpindahan panas menjadi kurang terlihat dan Nu/Nuo sangat dekat dengan satu (dengan demikian menunjukkan tidak ada peningkatan perpindahan panas di bawah daya pemompaan yang sama. Kinerja termal saluran dinding berrib umumnya lebih tinggi daripada saluran dinding tanpa menggunakan rib



Gambar 5. Penguatan perpindahan panas (Nu/Nuo) versus bilangan Reynolds.



Gambar 6. Visualisasi aliran pada saluran

Pada Gambar 6 terlihat visualisasi bagaimana nozzle meningkatkan pencampuran lateral antar lubang. Efek yang sesuai dari diameter nozzle pada faktor gesekan. Kehadiran rib cenderung mengganggu aliran dan karenanya menghasilkan faktor gesekan yang lebih tinggi. Variasi bilangan Nusselt dengan luas terbuka rasio lubang perforasi dan groove untuk nilai sudut serang $\alpha = 60^\circ$, tinggi penyumbatan relative $e/H = 0,25$ dan pitch rasio $p/e = 6$. Bilangan Nusselt meningkat seiring dengan meningkatnya rasio area terbuka hal ini sesuai dengan pernyataan [1], dan bilangan Nusselt menurun dengan penurunan rasio area terbuka yaitu pada diameter 2 mm. Tingkat pencampuran dan turbulensi yang lebih tinggi seiring

bertambahnya area, tetapi ini terjadi hingga rasio area terbuka tertentu di luar mana pengurangan kecepatan fluida yang keluar dari perforasi akan menyebabkan turbulensi berkurang. Oleh karena itu, terdapat yang optimal nilai rasio area terbuka

4. Kesimpulan

Kajian numerik yang telah dilakukan ini telah menghasilkan gambaran-gambaran tentang hal-hal yang mempengaruhi perpindahan panas, penurunan tekanan dan penguatan perpindahan panas yang terjadi didalam saluran segiempat dimana dinding dasarnya dibuat kasar dengan memasang rusuk yang berperforasi pada rentang bilangan Reynold mulai dari $2000 < Re < 20000$. Hasilnya dapat dilihat adanya efek dari konstruksi rusuk berforasi terhadap perpindahan panas yang diwakilkan oleh bilangan Nusselt dan penurunan tekanan oleh koefisien gesekan. Pada rezim aliran turbulen $2000 < Re < 20.000$ kostruksi rusuk berlubang memberikan kenaikan bilangan Nusselt yang berarti jika dibandingkan dengan tanpa rib. Tetapi diameter lubang nozzle 3 mm memberikan bilangan Nusselt yang lebih tinggi. Pada rezim aliran turbulen $2000 < Re < 20.000$ koefisien gesek untuk konfigurasi rusuk padu lebih tinggi dibandingkan rusuk dengan lubang. Koefisien gesekan terendah terjadi pada rusuk dengan diameter lubang 5 mm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor UMSU melalui L2PM UMSU yang telah membiayai kajian ini sampai selesai dengan nomor kontrak Nomor: 159/II.3-AU/UMSU-LP2M/C/2021Berisi secara singkat dan jelas tentang: (1) Jawaban yang cukup atas permasalahan atau tujuan kajian; (2) Hasil akhir yang dikemukakan harus logis dan sesuai fakta yang diperoleh; (3) Implikasi atau saran (saran merupakan kajian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil kajian supaya berdaya guna). Sebaiknya dituliskan dalam bentuk paragraf, bukan dalam bentuk item list/numbering.

Daftar Pustaka

- [1] Alam, T., Saini, R. P., & Saini, J. S. (2014c). Heat and flow characteristics of air heater ducts provided with turbulators - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 289–304. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.050>
- [2] Ravi, B. V., Singh, P., & Ekkad, S. V. (2017). Numerical investigation of turbulent flow and heat transfer in two-pass ribbed channels. *International Journal of Thermal Sciences*, 112, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.09.034>
- [3] Liu, J., Hussain, S., Wang, J., Wang, L., Xie, G., & Sundén, B. (2018). Heat transfer enhancement and turbulent flow in a high aspect ratio channel (4:1) with ribs of various truncation types and arrangements. *International Journal of Thermal Sciences*, 123, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.09.013>
- [4] G. Singh, T. Sundarajan, K.A. Bhaskaran. 2013, “Mixing and entertainment characteristics of circular and noncircular confined jets.” *Journal of fluids Engineering, Transaction of The ASME*, Vol. 125, 835-842.
- [5] Singh, P., Ravi, B. V., & Ekkad, S. V. (2016). Experimental and numerical study of heat transfer due to developing flow in a two-pass rib roughened square duct. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 1245–1256. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.07.015>
- [6] Nuntadusit, C., Wae-hayee, M., Bunyajitradulya, A., & Eiamsa-ard, S. (2012). Thermal visualization on surface with transverse perforated ribs. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(5), 634–639. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.03.001>
- [7] Menni, Y., Azzi, A., & Chamkha, A. (2019). Enhancement of convective heat transfer in smooth air channels with wall-mounted obstacles in the flow path: A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(4), 1951–1976. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7268-x>
- [8] Maradiya, C., Vadher, J., & Agarwal, R. (2018). The heat transfer enhancement techniques and their Thermal Performance Factor. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.10.001>
- [9] Bhosale, S. Y., & Selokar, G. R. (2020). Experimental examination of heat transfer characteristics of non conventional-truncated stepped grooved ribs. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 276–282. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85079618153&origin=inward>
- [10] Luo, M., He, Y., Sun, R., Xue, S., & Yang, W. (2018). Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of High Blockage Ribs Channel. *Nanjing Hangkong Hangtian Daxue Xuebao/Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 50(4), 471–476. <https://doi.org/10.16356/j.1005-2615.2018.04.007>
- [11] Kumar, A., Layek, A., & Kumar, D. (2020). Effect of relative roughness pitch on the performance evaluation of a solar air heater roughened with chamfered rib and groove roughness on the surface plate using CFD technique. *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2273. <https://doi.org/10.1063/5.0024246>

- [12] Gawande, V. B., Dhoble, A. S., Zodpe, D. B., & Fale, S. G. (2020). Thermal performance evaluation of solar air heater using combined square and equilateral triangular rib roughness. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 18(2), 234–244. <https://doi.org/10.1080/14484846.2018.1519986>
- [13] Zheng, D., Wang, X., & Yuan, Q. (2019). The flow and heat transfer characteristics in a rectangular channel with convergent and divergent slit ribs. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 141, 464–475. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.060>
- [14] Liu, J., Hussain, S., Wang, W., Wang, L., Xie, G., & Sundén, B. (2019). Heat transfer enhancement and turbulent flow in a rectangular channel using perforated ribs with inclined holes. *Journal of Heat Transfer*, 141(4). <https://doi.org/10.1115/1.4042841>
- [15] Rasool, A., & Qayoum, A. (2018). Numerical investigation of fluid flow and heat transfer in a two-pass channel with perforated ribs. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 26(4), 2009–2029.
- [16] Liou, T. M., & Chen, S. H. (1998). Turbulent heat and fluid flow in a passage disturbed by detached perforated ribs of different heights. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41(12), 1795–1806. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(97\)00242-1](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(97)00242-1)
- [17] Kim, Y. J., Choi, S. M., Park, H. S., Kim, S. W., Jung, E. Y., Park, J. S., & Cho, H. H. (2019). Heat transfer characteristics of the rib angle in the pin-fin cooling combined with perforated blockage. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, B*, 43(7), 453–461. <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2019.43.7.453>
- [18] Zhu, Q. H., Cui, M., & Gao, X. W. (2016). Enhanced heat transfer characteristics in a large aspect ratio rectangular channel with inclined perforated rib. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 31(4), 780–787. <https://doi.org/10.13224/j.cn>
- [19] Buchlin, J. M. (2002). Convective heat transfer in a channel with perforated ribs. *International Journal of Thermal Sciences*, 41(4), 332–340. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(02\)01323-6](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(02)01323-6)
- [20] Dai, Y., Tyacke, J., & Tucker, P. (2015). Rib shape effects on heat transfer performance in internal cooling passages. 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting. <https://doi.org/10.2514/6.2015-0351>
- [21] Alam, T., Saini, R. P., & Saini, J. S. (2014d). Use of turbulators for heat transfer augmentation in an air duct - A review. *Renewable Energy*, 62, 689–715. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.024>
- [22] Dutta, P., & Hossain, A. (2005). Internal cooling augmentation in rectangular channel using two inclined baffles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26(2), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2004.08.001>
- [23] Alam, T., Saini, R. P., & Saini, J. S. (2014b). Experimental investigation on heat transfer enhancement due to V-shaped perforated blocks in a rectangular duct of solar air heater. *Energy Conversion and Management*, 81, 374–383. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.044>
- [24] Rajaseenivasan, T., Srinivasan, S., & Srihar, K. (2015). Comprehensive study on solar air heater with circular and V-type turbulators attached on absorber plate. *Energy*, 88, 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.020>
- [25] Alam, T., Saini, R. P., & Saini, J. S. (2014a). Effect of circularity of perforation holes in V-shaped blockages on heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct. *Energy Conversion and Management*, 86, 952–963. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.050>
- [26] Giovanni Tanda ,(2011), Effect of rib spacing on heat transfer and friction in a rectangular channel with 45o angled rib turbulators on one/two walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, pp. 1081–1090
- [27] K. Umurani, Muharnif M (2019), Pengaruh diameter lubang pembangkit vorteks winglet melengkung, *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, Vol. 2, No. 1, 84-93. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3072>