

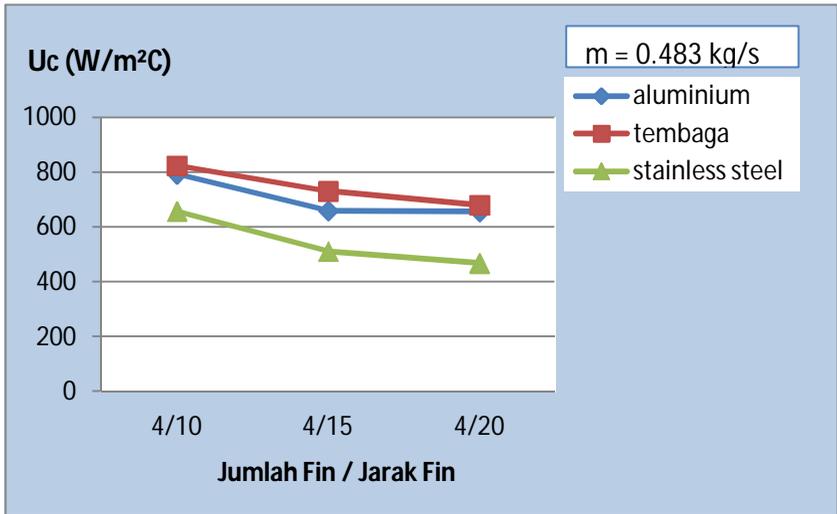
BAB IV

PERENCANAAN DAN PEMBAHASAN

Data eksperimen yang diperoleh dari hasil pengolahan data disusun dalam bentuk tabel dan grafik. Grafik ini terdiri dari beberapa hubungan antar variabel yang diamati, yaitu grafik koefisien perpindahan kalor total (U_c), laju perpindahan kalor (Q_c), penurunan tekanan (ΔP). Dari berbagai grafik tersebut diharapkan dapat mengungkap fenomena yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini yaitu adanya pengaruh variasi jarak dan jumlah *fin* bentuk delta wing terhadap koefisien perpindahan kalor total dan kenaikan penurunan tekanan pada alat penukar kalor pipa ganda.

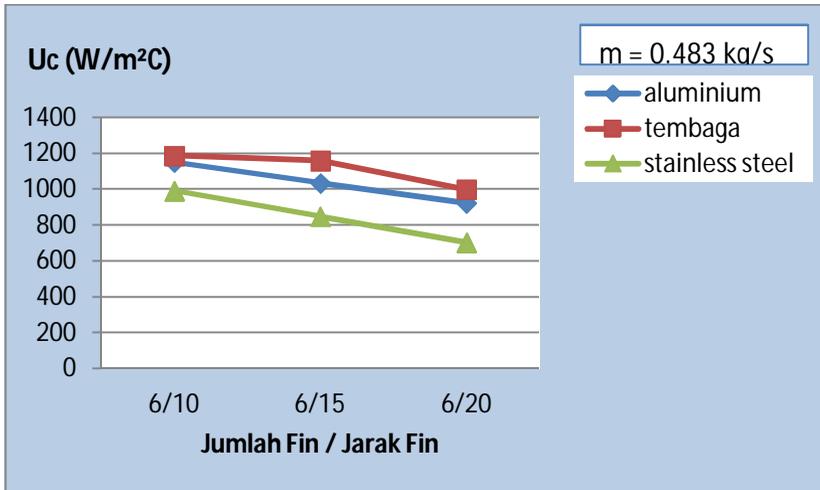
4.1 Nilai Koefisien Perpindahan Kalor Total (U_c)

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan nilai koefisien perpindahan kalor total (U_c) pada *tube* bahan aluminium, stainless steel, dan tembaga dengan variasi jumlah *fin* 4 dan jarak *fin* 10 cm, 15 cm, 20 cm. Pada gambar menunjukkan pengaruh bahan dan pengaturan jumlah maupun jarak *fin* terhadap koefisien perpindahan kalor total. Dalam hal ini aliran fluida dilakukan secara berlawanan arah (*Counter-Flow*).



Gambar 4.1 Profil koefisien perpindahan kalor total (U_c) sebagai fungsi variasi jumlah fin dan jarak fin (fin 4) – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan nilai koefisien perpindahan kalor total (U_c) pada bahan aluminium, stainless steel, dan tembaga dengan variasi jumlah fin 6 dan jarak fin 10 cm, 15 cm, 20 cm. Pada gambar menunjukkan pengaruh bahan dan pengaturan jumlah *fin* maupun jarak fin terhadap koefisien perpindahan kalor total.



Gambar 4.2 Profil koefisien perpindahan kalor total (U_c) sebagai fungsi variasi jumlah fin dan jarak fin (fin 6) – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

Data penelitian memperlihatkan bahwa besarnya nilai perpindahan kalor total pada alat penukar kalor pipa ganda dengan variasi bahan, pengaturan jumlah fin dan jarak fin memberikan hasil yang berbeda. Harga rerata koefisien perpindahan kalor total untuk alat penukar kalor pipa ganda dengan *tube* menggunakan bahan tembaga mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan bahan yang lainnya. Selanjutnya diikuti oleh *tube* yang menggunakan bahan aluminium dan yang paling rendah nilainya adalah *tube* dengan menggunakan bahan Stainless Steel.

Selain itu, pengaturan jumlah dan jarak fin pada masing-masing bahan juga memberikan hasil yang berbeda (seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2). Pada gambar 4.1 harga rata-rata koefisien perpindahan kalor total terbesar adalah dengan variasi jumlah fin 4 dengan jarak antar fin 10 cm (4/10) dengan nilai koefisien perpindahan kalor terbesar

pada bahan tembaga yaitu sebesar 824.814 ($\text{W/m}^2\text{C}$), kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar 793.782 ($\text{W/m}^2\text{C}$) dan menggunakan bahan stainless steel sebesar 657.972 ($\text{W/m}^2\text{C}$). Sedangkan terkecil pada variasi jumlah fin 4 dengan jarak antar fin 20 cm (4/20) dengan nilai koefisien perpindahan kalor terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar 680.685 ($\text{W/m}^2\text{C}$), kemudian menggunakan bahan aluminium yaitu sebesar 655.703 ($\text{W/m}^2\text{C}$) dan menggunakan bahan stainless steel sebesar 468.019 ($\text{W/m}^2\text{C}$).

Pada gambar 4.2 nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor total terbesar adalah dengan variasi jumlah fin 6 dengan jarak antar fin 10 cm (6/10) dengan nilai koefisien perpindahan kalor pada bahan tembaga sebesar 1186.567 ($\text{W/m}^2\text{C}$) kemudian pada bahan aluminium yaitu sebesar 1150.69 ($\text{W/m}^2\text{C}$) dan pada bahan stainless steel sebesar 990.511 ($\text{W/m}^2\text{C}$). Sedangkan terkecil pada variasi jumlah fin 6 dengan jarak antar fin 20 cm (6/20) dengan nilai koefisien perpindahan kalor pada bahan tembaga sebesar 998.677 ($\text{W/m}^2\text{C}$), kemudian pada bahan aluminium sebesar 922.568 ($\text{W/m}^2\text{C}$) dan pada bahan stainless steel sebesar 703.210 ($\text{W/m}^2\text{C}$).

Hal ini disebabkan karena nilai konduktivitas masing-masing bahan berbeda, yaitu: 238.5 (W/m.K) untuk bahan aluminium, 401 (W/m.K) untuk bahan tembaga, 17 (W/m.K) untuk bahan stainless steel, sehingga jumlah kalor yang di transfer dari fluida yang berada di *tube* ke fluida yang berada di *shell* juga berbeda. Dengan demikian jumlah kalor yang diterima oleh fluida dingin juga berbeda. Penambahan fin pada sisi *tube* dengan variasi yang berbeda sehingga luas permukaan tube yang diuji berbeda inilah yang menyebabkan perolehan nilai koefisien perpindahan kalor pada masing-masing bahan yang diuji memberikan hasil yang berbeda. Perolehan nilai koefisien perpindahan kalor total pada masing-masing bahan

tersebut mengalami peningkatan seiring dengan penambahan jumlah fin dan kerapatan fin yang dipasang.

Selain itu, kerugian tekanan aliran fluida akibat adanya penambahan fin pada sisi shell turut mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor total. Pada tabel 4.1 ditunjukkan hubungan nilai koefisien perpindahan kalor total terhadap penurunan tekanan (ΔP) pada berbagai bahan dengan variasi jumlah maupun jarak fin yang diuji. Dari tabel 4.1 terlihat bahwa kerugian tekanan yang terjadi pada variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 10 cm (4/10) jauh lebih besar dibanding lainnya. Selanjutnya diikuti oleh variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 15 cm (4/15), dan yang terendah pada variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 20 cm (4/20). Pada tabel 4.1 terlihat juga bahwa kerugian tekanan yang terjadi pada variasi jumlah fin 6 dengan jarak fin 10 cm (6/10) lebih besar dari (6/15), dan (6/20).

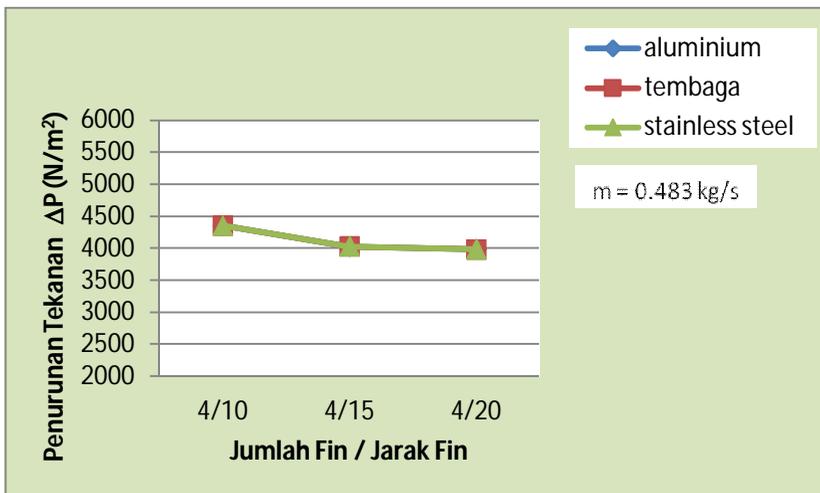
Tabel 4.1 Tabel koefisien perpindahan kalor total (U_c) dan penurunan tekanan (N/m^2). Terhadap variasi pengujian

Bahan	Variasi	U_c (W/m^2C)	Penurunan Tekanan (N/m^2)
Tembaga	4/10	824.8140	4352.90
	4/15	731.5330	4028.59
	4/20	680.6850	3982.97
	6/10	1186.567	4788.81
	6/15	1158.999	4398.53
	6/20	998.6770	4106.28
Aluminium	4/10	793.7820	4352.90
	4/15	659.5020	4028.59
	4/20	655.7030	3982.97
	6/10	1150.690	4768.46
	6/15	1033.622	4439.22
	6/20	922.5680	4106.28

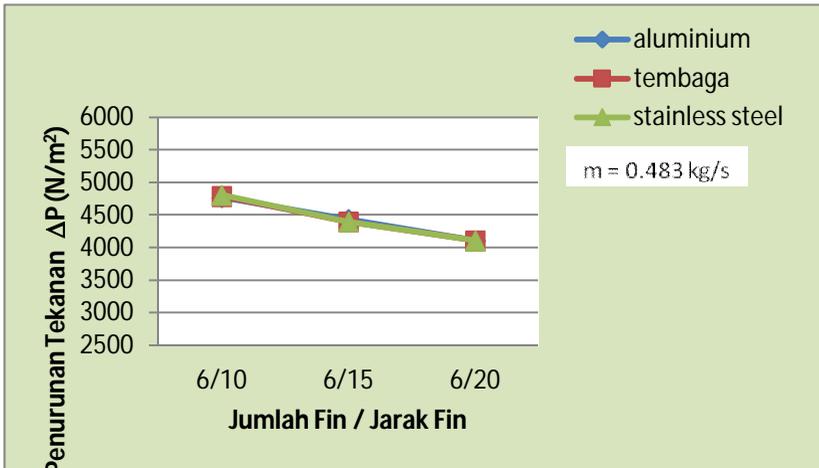
Bahan	Variasi	Uc (W/m²C	Penurunan Tekanan (N/m²)
Stainless Steel	4/10	657.9720	4352.90
	4/15	511.3510	4028.59
	4/20	468.0190	3982.97
	6/10	990.5110	4809.16
	6/15	848.0690	4398.53
	6/20	703.2100	4106.28

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai koefisien perpindahan kalor total mempunyai kecenderungan semakin besar pula penurunan tekanan yang terjadi. Hal ini dapat dilihat pada variasi jumlah fin 6 dengan jarak fin 10 cm (6/10) penurunan tekanan yang terjadi adalah 4768.46 N/m² sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor total pada aluminium adalah 1150.69 W/m²C, pada tembaga adalah 1186.567 W/m²C, dan pada stainless steel adalah 990.511 W/m²C. Sedangkan pada variasi (6/20) penurunan tekanan yang terjadi adalah 4106.28 (N/m²). Nilai perpindahan kalor total pada aluminium adalah 922.568 W/m²C, pada tembaga 998.677 W/m²C, dan pada stainless steel adalah 703.210 W/m²C (lihat tabel 4.1). Pada variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 20 cm penurunan tekanan yang terjadi adalah 3982.97 N/m² sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor total pada aluminium adalah 655.703 W/m²C, pada tembaga adalah 680.685 W/m²C, dan pada stainless steel adalah 468.019 W/m²C. Sedangkan pada variasi (4/10) penurunan tekanan yang terjadi adalah 4352.9 (N/m²) nilai perpindahan kalor total pada tembaga 824.814 W/m²C, Aluminium 793.782 W/m²C, dan pada stainless steel 657.972 W/m²C (lihat tabel 4.1).

Hal ini disebabkan fluida yang mengalir pada variasi jumlah fin 6 dengan jarak fin 10cm (6/10) cenderung lebih lambat dibandingkan pada variasi (6/20). Begitu juga fluida yang mengalir pada variasi (4/10) lebih lambat dibanding variasi (4/20), sehingga kontak antar fluida panas yang mengalir pada sisi *tube* dengan fluida dingin pada sisi *shell* lebih lama. Dengan demikian jumlah kalor yang ditransfer dari *tube* ke *shell* akan semakin besar.

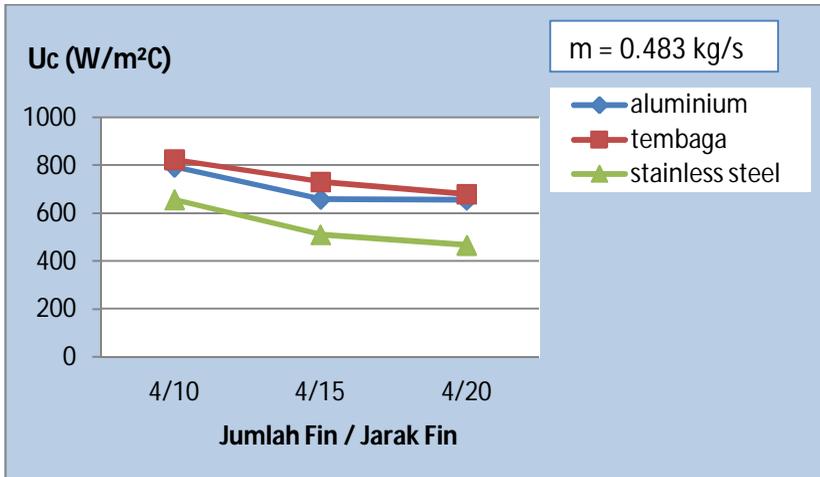


Gambar 4.3 Profil penurunan tekanan (N/m²) sebagai fungsi variasi jumlah fin (4 fin) dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

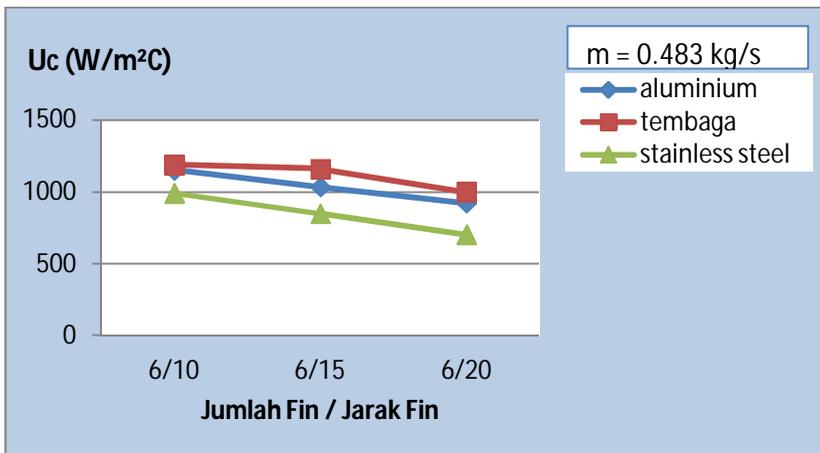


Gambar 4.4 Profil penurunan tekanan (N/m^2) sebagai fungsi variasi jumlah fin (6 fin) dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

Besarnya kenaikan tekanan pada masing-masing variasi yang diuji dimungkinkan karena perbedaan jumlah fin yang dipasang pada masing-masing alat penukar kalor sehingga lintasan partikel fluida yang melewati saluran menjadi sempit. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4. Selain itu, pola aliran fluida juga turut berpengaruh terhadap kerugian tekanan dimana fluida yang mengalir sepanjang pipa mengalami perubahan seiring dengan penambahan jumlah fin. Dalam proses perancangan alat penukar kalor pipa ganda faktor kerugian tekanan perlu dipertimbangkan secara matang. Hal ini terkait dengan kehandalan alat penukar kalor dimana alat penukar kalor yang baik adalah memiliki koefisien perpindahan kalor total yang besar, tetapi kerugian tekanannya sekecil mungkin.



Gambar 4.5 Profil koefisien perpindahan kalor total (W/m²C) sebagai fungsi variasi jumlah fin dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.



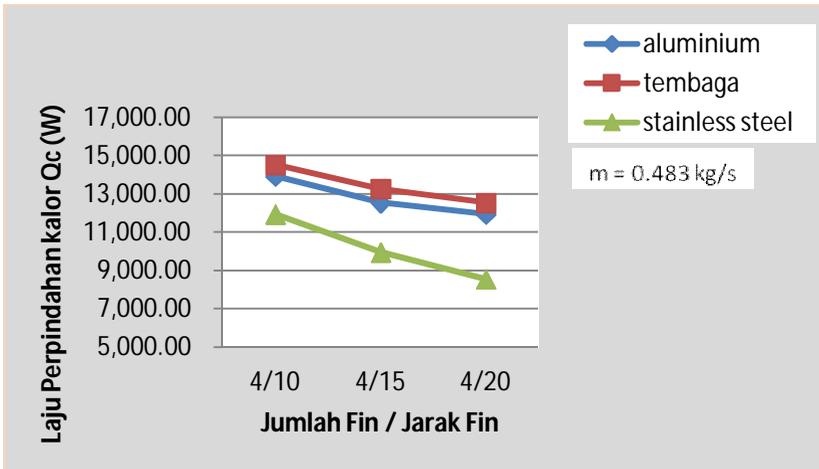
Gambar 4.6 Profil koefisien perpindahan kalor total (W/m²C) sebagai fungsi variasi jumlah fin dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan hubungan nilai koefisien perpindahan kalor total (U_c) secara aktual maupun teoritis pada bahan aluminium, stainless steel, dan tembaga dengan variasi jumlah fin dan jarak fin. Data penelitian memperlihatkan bahwa besarnya nilai perpindahan kalor total pada alat penukar kalor pipa ganda secara aktual maupun teoritis pada masing-masing variasi memberikan hasil yang berbeda. Harga rerata koefisien perpindahan kalor total secara actual lebih besar dibandingkan secara teoritis. Hal ini disebabkan oleh beberapa kemungkinan yaitu: faktor pengelasan yang menyebabkan luas bertambah, ketebalan sepanjang pipa kemungkinan tidak sama sehingga tahanan dindingnya ada yang kecil, pemotongan fin yang kurang presisi sehingga fin ada yang lebih besar dari ukuran teoritis.

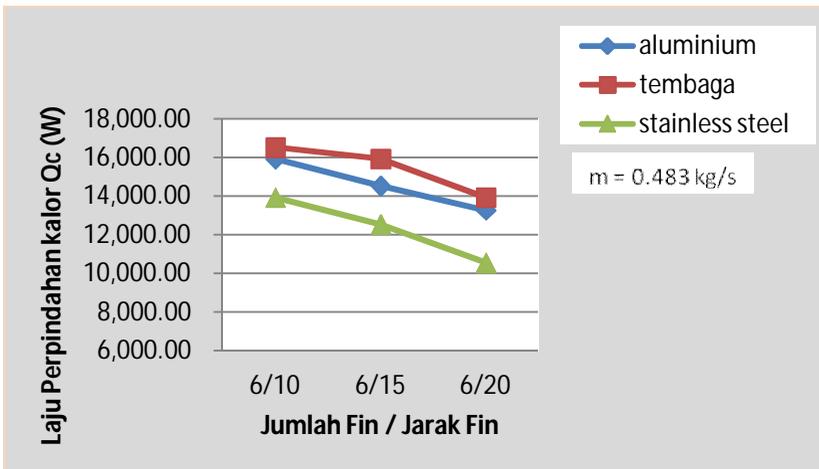
4.2 Laju Perpindahan Kalor (Q_c)

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan laju perpindahan kalor pada berbagai bahan yang diuji (Aluminium, tembaga, Stainless Steel) dengan variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 10 cm, 15 cm, 20 cm. Dalam gambar menunjukkan pengaruh variasi jumlah dan jarak fin terhadap laju perpindahan kalor. Aliran fluida dilakukan secara berlawanan arah.

Data penelitian memperlihatkan bahwa besarnya laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor pipa ganda dengan variasi jumlah fin 4 dan 6 dengan jarak fin yang dipakai dalam penelitian pada berbagai bahan yang diuji memberikan hasil yang berbeda. Harga rerata laju perpindahan kalor untuk bahan tembaga pada berbagai variasi jumlah dan jarak fin tampak lebih besar dibandingkan dengan lainnya. Selanjutnya diikuti oleh bahan aluminium dan yang paling rendah adalah menggunakan bahan stainless steel (lihat gambar 4.7 dan 4.8).



Gambar 4.7 Profil laju perpindahan kalor (Q_c) sebagai fungsi variasi jumlah (4 fin) dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.



Gambar 4.8 Profil laju perpindahan kalor (Q_c) sebagai fungsi variasi jumlah (6 fin) dan jarak fin – data tabel pada **LAMPIRAN 4**.

Dari grafik dapat dilihat bahwa pada variasi jumlah fin 4 dengan jarak fin 10 cm (4/10) diperoleh nilai laju perpindahan kalor rata-rata terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar 14529.434 W, diikuti dengan bahan aluminium sebesar 13932.937 W, dan terendah adalah dengan menggunakan bahan stainless steel yaitu sebesar 11944.242 W (lihat gambar 4.7). Pada variasi jumlah fin 6 dengan jarak fin 10 cm diperoleh nilai laju perpindahan kalor rerata terbesar pada bahan tembaga yaitu sebesar 16517.382 W, diikuti dengan bahan aluminium sebesar 15921.058 W, dan yang terendah adalah dengan menggunakan bahan stainless steel yaitu sebesar 13932.937 W (lihat gambar 4.8).

Hal ini disebabkan karena bahan tembaga mempunyai nilai konduktivitas bahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium maupun stainless steel sehingga laju perpindahan kalor pada bahan tembaga cenderung lebih besar daripada yang lainnya. Perolehan nilai laju perpindahan kalor pada berbagai bahan tersebut akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah pemasangan fin pada sisi *tube*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.

Selain itu, penurunan tekanan sebagai akibat penambahan fin pada *tube* di sisi *Shell* juga turut mempengaruhi nilai laju perpindahan kalor. Hal ini dimungkinkan karena fluida yang mengalir pada sisi *shell* menjadi lebih lambat, sehingga transfer kalor dari fluida panas yang berada di *tube* dengan fluida dingin yang berada di *shell* lebih lama.