

## Pengaruh Aliran Udara Melintang pada Peningkatan Perpindahan Kalor Sirip Memanjang Terpenggal dengan Beberapa Konfigurasi

Hendry S. Tira  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan perpindahan kalor pada sirip memanjang terpenggal yang dialiri aliran udara utama dan aliran udara sekunder (pengganggu) yang tegak lurus terhadap aliran udara utama yang dialirkan pada tiap celah antar sirip. Hasil yang diperoleh dinyatakan dalam bilangan Nusselt, penurunan tekanan dan faktor gesek.

Penelitian menggunakan tiga buah sirip yang terbuat dari aluminium dan ditempatkan pada *multi purpose air duct*. Kecepatan aliran udara utama divariasikan. Pemanas digunakan untuk memanaskan sirip dan termokopel diletakkan di permukaan sirip untuk mengetahui temperaturnya. Sebuah regulator digunakan untuk mengatur temperature sirip.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor tertinggi terjadi pada sirip terpenggal selang-seling dengan kemiringan 20°. Sirip tersebut juga memiliki penurunan tekanan terbesar. Penurunan tekanan terendah terjadi pada sirip terpenggal segaris. Faktor gesek tertinggi terjadi pada sirip terpenggal selang seling dengan kemiringan 20°.

Adapun profil aliran udara yang terjadi sekitar sirip seperti kecepatan dan suhu ditampilkan dalam gambar dengan menggunakan program software fluent dan hasil yang ditampilkannya sesuai dengan hasil pengujian laboratorium.

Korelasi empiris untuk kemampuan termal dan faktor gesek dari tiap model sirip diberikan dibawah ini :

- Sirip terpenggal selang-seling dengan kemiringan 20°

$$\begin{aligned} Nu &= 0,496 Re^{0,596} \\ f &= 0,084 Re^{-0,242} \end{aligned}$$

- Sirip terpenggal selang-seling

$$\begin{aligned} Nu &= 0,634 Re^{0,533} \\ f &= 0,039 Re^{-0,215} \end{aligned}$$

- Sirip terpenggal segaris

$$\begin{aligned} Nu &= 0,384 Re^{0,581} \\ f &= 0,031 Re^{-0,205} \end{aligned}$$

*Kata kunci : sirip terpenggal, aliran udara sekunder, perpindahan kalor.*

## I. PENDAHULUAN

Pada industri, sirip memegang peranan yang cukup besar. Banyak peralatan industri yang mempergunakan sirip untuk memperluas permukaan agar perpindahan kalor yang terjadi semakin baik. Pada sistem pengkondisian udara, sirip banyak ditemui pada peralatan seperti : radiator, convector, base board, fin tube, radiant panel, heater, fan coil unit, induction unit, air handling unit dll. Pada industri kimia, sirip banyak dipakai pada heat exchanger (alat penukar kalor), dengan berbagai ukuran dari ukuran kecil sampai besar. Sedangkan pada industri kendaraan, biasanya sirip ditemui pada silinder sepeda motor. Kompresor maupun pompa adakalanya juga dipasangi. Demikian juga pada peralatan elektronika. Pada semua peralatan-peralatan tersebut, fungsi sirip adalah sama, yaitu untuk memperbesar laju aliran kalor.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan perpindahan kalor pada suatu alat penukar kalor khususnya sirip. Alat penukar kalor sendiri adalah suatu alat yang banyak digunakan di bidang industri dan aplikasi teknik untuk mempermudah perpindahan kalor dari suatu fluida atau media ke fluida lain. Pada semua kasus yang menggunakan sirip diusahakan agar laju perpindahan kalor per satuan luas permukaan dapat setinggi mungkin namun dengan harga konstruksi yang rendah dan juga dapat menempati ruang yang kecil. Selain itu rugi-rugi tekanan yang terjadi seminimal mungkin.

Ada beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk meningkatkan perpindahan kalor pada suatu alat penukar kalor misalnya sirip, seperti : memperbesar nilai konduktivitas termal ( $k$ ) bahan, memperbesar koefisien perpindahan konveksi ( $h$ ), menurunkan temperatur fluida yang melewati sirip ( $T$ ) atau dengan memperluas bidang permukaan sirip ( $A$ ). Namun cara-cara tersebut diatas memiliki kendala yang besar seperti konsekuensi pengeluaran biaya yang besar karena harus memerlukan bahan yang khusus seperti tembaga (nilai  $k$  tinggi) atau menambahkan alat tambahan seperti pompa atau blower untuk mendapatkan nilai  $h$  yang tinggi. Menambahkan luas permukaan sirip pun tidak selamanya efektif karena sirip sendiri merupakan tahanan termal dari permukaan plat datar.

Teknik yang umumnya digunakan untuk menghasilkan transfer energi kalor yang baik adalah dengan menciptakan aliran turbulen, sebab aliran turbulen terbukti efektif dalam proses transfer kalor dimana transfer momentum dan energi menjadi lebih baik. Adapun dalam penelitian ini susunan sirip diubah-ubah dengan maksud agar dapat dihasilkan aliran turbulen sehingga diharapkan proses transfer kalor menjadi lebih baik.

Pada penelitian ini perpindahan kalor konveksi terjadi pada permukaan sirip yang memiliki temperatur tinggi dengan fluida udara yang melewatiinya. Aliran udara yang melewati sirip menyebabkan gradien temperatur yang besar karena terdapat perbedaan temperatur antara sirip dengan fluida udara.

Dalam menganalisa proses perpindahan kalor yang terjadi, viskositas fluida dan sifat-sifat termal fluida seperti konduktifitas termal ( $k$ ), kalor spesifik ( $C_p$ ), dan densitas ( $\rho$ ) sangat mempengaruhi perpindahan kalor konveksi yang terjadi, hal ini disebabkan viskositas fluida mempengaruhi profil kecepatan dan karena itu mempengaruhi laju perpindahan kalor dari sirip. Untuk mengetahui besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi yang terjadi pada sirip diasumsikan bahwa besarnya kalor yang diserap oleh fluida (udara) sama dengan besarnya kalor yang dilepaskan dari permukaan sirip. Dalam hal ini perpindahan kalor konduksi sama dengan perpindahan kalor konveksi.

Diasumsikan pula bahwa tidak terjadi kehilangan kalor ke udara sekitar yang melalui saluran udara.

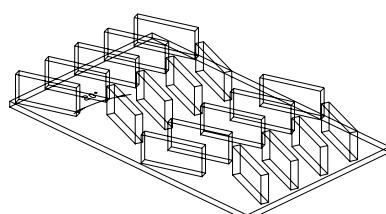
Sesungguhnya dalam menganalisa perpindahan kalor pada sirip memanjang terpenggal terdapat juga perpindahan kalor radiasi, tetapi karena perpindahan kalor radiasi yang terjadi sangat kecil maka hal tersebut dapat diabaikan. Pada penelitian Jubran (1993) dan kawan-kawan telah mengutip hasil penelitian Naek dan kawan-kawan (1987) yang melakukan penelitian pada susunan sirip pada plat dan memperoleh total perpindahan kalor radiasi besarnya hanya 0,5 % dari total kalor yang dilepaskan, demikian pula Jubran mengutip penelitian Tahat (1988), dimana Tahat telah melakukan penelitian yang sama pada sirip paku dan diperoleh hasil bahwa perpindahan kalor radiasi hanya 2,5 % dari total kalor yang dilepas maka berdasarkan hal tersebut maka perpindahan kalor radiasi dapat diabaikan.

## II. METODE PENELITIAN

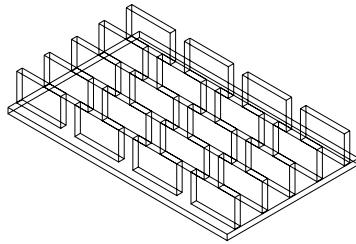
Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: sirip yang terbuat dari aluminium, termometer standar air raksa untuk kalibrasi termokopel, termometer air raksa, aluminium foil sebagai bahan isolasi panas. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah sebuah terowongan angin (*multi purpose air duct*) yang terbuat dari kayu (*multi plex*). Selain itu digunakan juga alat-alat pendukung lainnya seperti: indikator temperatur digital, termokopel jenis K (*chromel alumel*), termostat untuk mengatur suhu sirip pada temperatur yang diinginkan, heater untuk memanaskan sirip sampai pada temperatur tertentu serta barometer untuk mengukur tekanan udara ruangan.

Benda uji yang digunakan adalah sirip memanjang terpenggal pada plat datar yang terbuat dari aluminium sebanyak 3 macam yang selanjutnya disebut sebagai sirip A, sirip B dan sirip C. Ketiga macam sirip mempunyai jumlah sirip yang sama sebanyak 22 buah. Ukuran dari sirip yaitu panjangnya 4 cm, lebar 0,5 cm dan tinggi 2,5 cm, terletak pada plat datar dengan ukuran panjang 20 cm dan lebar 12 cm. Jarak antar sirip dibuat sama untuk ketiga sirip yaitu 1,3 cm.

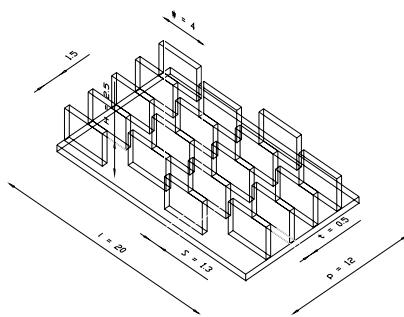
Sebelum pencatatan data dilakukan terlebih dahulu sirip yang akan diuji ditempatkan pada posisi yang diinginkan dalam terowongan angin. Demikian pula heater untuk memanaskan sirip dipasang dan dihubungkan dengan termostat agar temperatur yang konstan dapat dipertahankan selama pengujian berlangsung. Pengambilan data dilakukan apabila temperatur sirip telah mencapai keadaan tunak. Adapun 9 buah termokopel dipasang pada sirip dengan lokasi yang berbeda. Ke-9 termokopel dihubungkan dengan indikator temperatur digital.



sirip A



sirip B



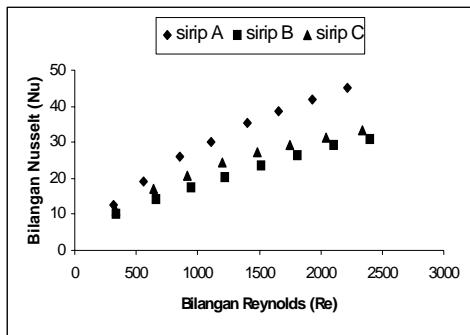
sirip C    Gambar 1. Bentuk sirip yang diuji

Termokopel juga dipasang pada bagian dalam terowongan angin yaitu pada seksi sebelum ( $T_m$ ) dan sesudah ( $T_k$ ) fluida melewati benda uji.

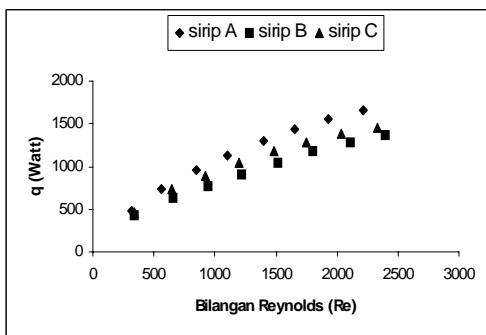
Sebelumnya semua termokopel yang akan digunakan dikalibrasi dengan menggunakan termometer standar. Selain kalibrasi termokopel, kecepatan udara yang masuk juga dikalibrasi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai bilangan Nusselt (Nu) dan koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) terbesar untuk ketiga macam sirip dimiliki oleh sirip A (sirip selang-seling/staggered dengan sudut kemiringan  $20^\circ$ ) kemudian diikuti oleh sirip C (siling selang-seling/staggered tanpa kemiringan) dan terakhir sirip B (sirip sebaris/in-line terpenggal). Hal ini memperlihatkan bahwa susunan sirip pada plat yang bersuhu tinggi dan dihembusi aliran fluida sangat menentukan besar kecilnya perpindahan kalor konveksi plat tersebut. Dari gambar menunjukkan bahwa sirip dengan susunan berseling-seling (*staggered*) sangat baik perpindahan kalor konveksinya dari pada sirip dengan susunan sebaris (*in line*), hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut: aliran fluida yang melewati sirip selang-seling mengalami gangguan yang besar akibat luas frontal sirip yang bertumbukan dengan aliran fluida lebih luas dari pada sirip dengan susunan sebaris. Gangguan yang lebih besar lagi terjadi pada sirip selang-seling dengan sudut kemiringan, karena aliran fluida menyentuh salah satu sisi sirip yang menyebabkan pada bagian belakang dan sisi sirip terjadi olakan yang besar.



Gambar 2. Grafik hubungan Re vs Nu

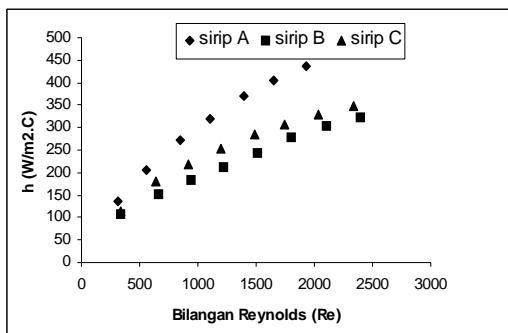


Gambar 3. Grafik hubungan Re vs q

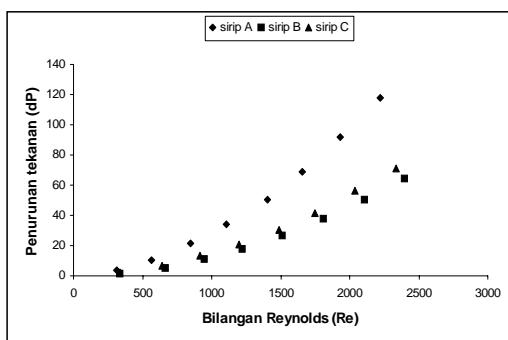
Sesuai dengan teori lapis batas, maka aliran fluida yang melewati sirip pada sisi belakang sirip akan terbentuk aliran pemisah yang memisahkan antara aliran fluida yang arahnya relatif seragam dengan pusaran aliran fluida atau disebut vorteks. Sebelumnya berdasarkan penelitian yang terdahulu oleh para peneliti menyimpulkan bahwa bidang yang terpenggal-penggal sangat baik perpindahan kalornya dari pada bidang lurus memanjang. Karena bidang yang terpenggal menghasilkan daerah olakan yang lebih banyak dan luas. Pada sirip yang memiliki susunan sebaris pusaran aliran terjadi pada daerah terpenggal yaitu daerah antara bagian belakang sirip depan dengan bagian depan dari sirip belakang, sedangkan pada sirip dengan susunan selang-seling lokasi pusaran terjadi di bagian belakang dari setiap sirip. Ini berarti daerah pusaran fluida atau *wake* lebih banyak dari pada sirip susunan sebaris. Dan sesuai dengan penjelasan terdahulu bahwa pusaran yang terjadi memberikan keuntungan dalam perpindahan kalornya karena pusaran fluida tersebut mengangkut lebih banyak energi dan kalor dari permukaan sirip dibandingkan dengan aliran fluida yang seragam.

Pada aliran turbulen mekanisme perpindahan kalornya melibatkan bongkahan-bongkahan makroskopik fluida yang bergerak secara tidak teratur dan kecepatannya yang berubah-ubah setiap waktu. Karena adanya gerakan fluida yang tidak teratur ini menyebabkan bongkahan makroskopik fluida baik yang di atas maupun yang di bawah dan bersuhu rendah akan saling bergantian menyentuh permukaan sirip yang panas untuk kemudian mengangkut energi kalor tersebut ke lingkungan. Sedangkan apabila dibandingkan dengan aliran fluida yang seragam atau laminar, maka kontak fluida dengan plat panas hanya terjadi pada lapisan fluida yang bagian bawah, adapun lapisan fluida yang berada di atasnya tidak mengalami kontak langsung dengan permukaan plat atau sirip. Karena aliran laminar adalah aliran fluida yang terdiri dari lapisan-lapisan

yang kecepatannya cenderung seragam pada daerah yang sama menurut arah sumbu y terhadap plat.



Gambar 4. Grafik hubungan Re vs  $h$

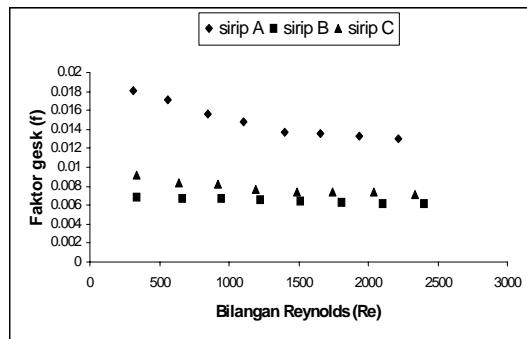


Gambar 5. Grafik hubungan Re vs dP

Selanjutnya untuk sirip susunan selang-seling dengan sudut kemiringan akan menyebabkan aliran fluida yang melewatkannya semakin tidak teratur akibat luasnya bidang frontal sirip yang bersentuhan dengan aliran fluida. Akibatnya pada daerah pusaran akan semakin luas dan langsung berdampak pada meningkatnya perpindahan kalor konveksi sirip.

Untuk laju perpindahan kalornya ( $q$ ), sirip A juga menunjukkan nilai  $q$  yang terbesar dibandingkan dengan sirip B dan sirip C. Sedangkan sirip B adalah sirip yang nilai  $q$ -nya paling kecil. Besarnya nilai  $q$  pada sirip A dibandingkan dengan konfigurasi sirip yang lain dapat dijelaskan karena posisi atau letak sirip pada plat rata yang tidak segaris membuat aliran udara utama menjadi lebih terganggu sehingga aliran membentuk pusaran-pusaran yang intensitasnya cukup tinggi pada beberapa tempat. Akibat adanya pusaran aliran inilah sehingga pengangkutan kalor dari permukaan sirip ke fluida menjadi lebih baik. Laju perpindahan kalor sirip C juga lebih baik dari pada sirip B karena susunan siripnya yang berselang-seling.

Dalam hal faktor gesek, faktor gesekan akan semakin kecil dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Dalam penelitian ini sirip A memiliki nilai faktor gesek tertinggi diikuti oleh sirip C dan terendah sirip B. Dengan bertambahnya bilangan Reynolds maka faktor geseknya pun akan menurun, karena bilangan Reynolds adalah perbandingan antara gaya inersia dan gaya gesek.



Gambar 6. Grafik hubungan Re vs f

Selain itu nilai faktor gesek berbanding terbalik dengan pangkat dua kecepatan fluida sehingga apabila kecepatan fluida makin besar maka faktor gesek pun akan semakin kecil.

Untuk penurunan tekanannya, akan semakin besar dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida atau bilangan Reynolds. Penurunan tekanan juga akan semakin besar apabila susunan sirip berselang-seling dibandingkan dengan sirip susunan sebaris karena hal tersebut mengakibatkan intensitas gangguan aliran fluida yang melewati sirip tersebut makin besar yang diikuti oleh penurunan tekanan. Diantara keuntungan-keuntungan yang diperoleh sirip oleh karena perubahan susunan sirip seperti meningkatnya koefisien laju perpindahan kalornya, perlakuan tersebut memiliki kekurangan karena penurunan tekanannya (*pressure drop*) bertambah.

Selain itu untuk melihat pola aliran yang terjadi di sekitar sirip seperti kontur temperatur, kontur kecepatan dan tekanan penulis menampilkannya dengan menggunakan program *software fluent* yang dapat dilihat pada gambar. Hasil yang diperoleh berdasarkan eksperimen ternyata sama dengan apa yang ditampilkan oleh program.

#### IV. KESIMPULAN

Sirip A memiliki nilai koefisien perpindahan kalor konveksi, laju perpindahan kalor, penurunan tekanan dan faktor gesek yang lebih besar jika dibandingkan dengan kedua sirip yang lain.

Dengan membuat perubahan susunan sirip pada plat datar walaupun bentuk sirip sama untuk ketiga sirip atau benda yang diuji ternyata sangat berpengaruh besar dalam meningkatkan laju perpindahan kalor sirip. Hal tersebut disebabkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran aliran fluida yang baik untuk proses perpindahan kalor. Perubahan susunan sirip khusunya untuk sirip yang berselang-seling dengan kemiringan juga menyebabkan penurunan tekanan dan faktor gesek semakin besar.

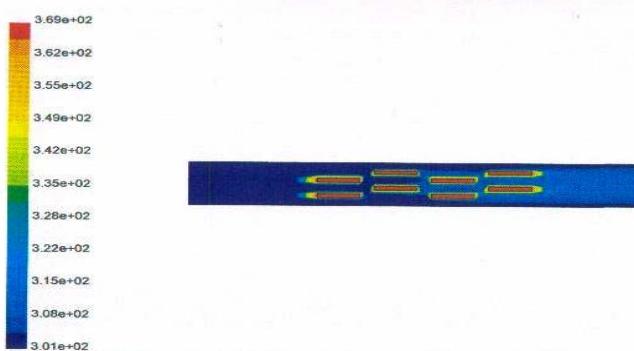
#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Bayazitoglu, Y., Ozisik, M. N., *Elements Of Heat Transfer*, McGraw Hill Book Company, New York.
- Fox, R. W., and McDonald, A. T., 1978, *Introduction to Fluid Mechanics*, second edition, John Wiley & Sons. Inc., Canada.
- Fraas, A.P., 1989, *Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons, Inc., United States of America.
- Holman, J. P., 1995, *Perpindahan Kalor*, cetakan kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.

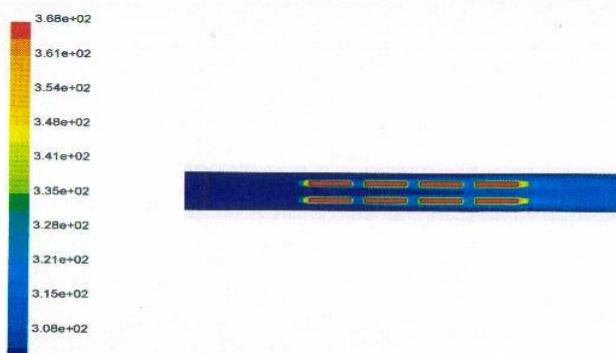
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., 1985, *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer*, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc. United States of America.
- Janna, W. S., 1975, *Engineering Heat Transfer*, PWS Engineering, Boston.
- Jubran, B. A., Hamdan, M. A., Abdulah, R. M., 1991, *Enhanced Heat Transfer, Missing Pin, And Optimization for Cylindrical Pin Fin Arrays*, Journal Of Heat Transfer, vol. 115, pp. 576-583.
- Kreith, F., 1976, *Principles Of Heat Transfer*, Third Edition, Harper International Edition, New York.
- Saunders, E. A. D., 1988, *Heat Exchangers (selection, design, and construction)*, Longman Scientific & Technical, United Kingdom.



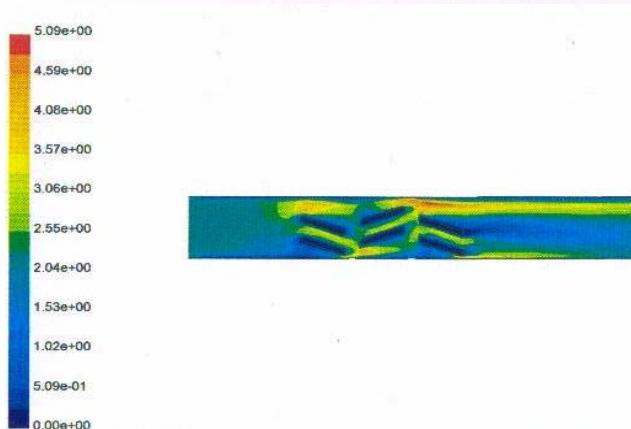
Kontur temperatur (K) sirip A



Kontur temperatur (K) sirip B



Kontur temperatur (K) sirip C



Kontur Kecepatan Udara (m/s) sirip A

