

## MODEL NUMERIK PERHITUNGAN TEMPERATUR KANAL DAYA SIMULASI PLTN TIPE PWR

Nur Adi Uddin

Pusat Penelitian Teknologi Keselamatan Reaktor - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

MODEL NUMERIK PERHITUNGAN TEMPERATUR KANAL DAYA SIMULASI PLTN TIPE PWR. Telah disusun suatu model perhitungan temperatur kanal daya pada Untai Termohidrolika (simulasi PLTN tipe PWR dan PHWR) yang ada di PPTKR. Karena terjadinya proses pendidihan dalam teras tipe PWR merupakan hal yang tidak diinginkan, maka telah dicoba untuk memperkirakan temperatur masukan pendingin yang masih diperbolehkan didalam teras (kanal uji) yang tidak menyebabkan terjadi proses pendidihan. Perhitungan dilakukan berdasarkan data-data teknis dari fasilitas tersebut dengan menggunakan program komputer. Fenomena ketergantungan sifat-sifat fisis pendingin terhadap perubahan temperaturnya dihitung dengan metode iterasi untuk temperatur masukan  $290^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $310^{\circ}\text{C}$ . Dalam hal ini korelasi perpindahan panas yang digunakan untuk kondisi *subcooled* adalah korelasi Dittus-Boelter sedangkan untuk kondisi pendidihan digunakan korelasi Jeans dan Lottes. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa untuk sistem PWR, temperatur saturasi dicapai pada temperatur masukan  $310^{\circ}\text{C}$ .

### ABSTRACT

NUMERIC MODEL OF TEMPERATURE DISTRIBUTION CALCULATION IN THE SIMULATED POWER CHANNELS OF PWR TYPE NUCLEAR POWER PLANT. The numerical model of calculation of temperature distribution in the power channels of Thermohydraulic Loop in PPTKR - BATAN Serpong has been developed. Because the boiling process is one of the unexpected events in the PWR type core, we have tried to predict the input temperature of the cooling water that is still allowed in the core which will not cause the boiling. This calculation have been carried out with the computer program which is based on the technical data from that facility. The dependently phenomena of the physical characteristic of coolant to the temperature variations were calculated by iteration method with input temperatures:  $290^{\circ}\text{C}$ ,  $295^{\circ}\text{C}$  and  $310^{\circ}\text{C}$ . In this case, the heat transfer correlation which is used for sub-cooled condition was calculated by Dittus-Boelter correlation. While for boiling condition Jeans and Lottes correlation was used. The calculation results indicate that the temperature saturation in the power channel of the PWR system of the Thermohydraulic Loop was reached if  $310^{\circ}$  input temperature.

### PENDAHULUAN

Untuk melakukan pengkajian dan pemahaman terhadap aspek teknologi reaktor khususnya untuk tipe PWR. BATAN membangun sebuah sarana berupa Untai Termohidrolika yang merupakan simulasi sebuah reaktor tipe PWR dan PHWR. Untuk simulasi tipe PWR, acuannya adalah pada reaktor Westinghouse 1000 MWe type 312 dengan perbandingan daya 1:1150. Sarana tersebut dirancang untuk dapat mensimulasikan kondisi mantap maupun kondisi transien, serta antara lain dapat mensimulasikan fenomena termohidrolika dalam proses terjadinya kecelakaan kehilangan pendingin akibat pipa pecah.

Untai Termohidrolika terdiri dari beberapa komponen utama antara lain pompa sirkulasi, bundel uji (simulasi bahan bakar), tabung

tekan (pressurizer), pemanas awal, penukar panas, tangki pendingin darurat dan perangkat sistem air pendingin. Fasilitas tersebut juga dilengkapi dengan berbagai pengindera untuk memantau dan mengendalikan parameter-parameter termohidrolika selama operasi dan juga dilengkapi dengan sistem pencatat data.

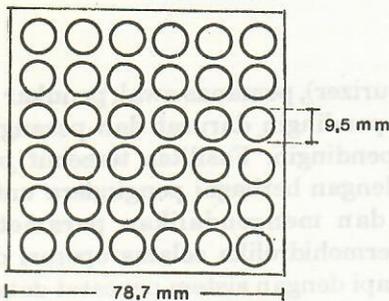
Sebelum dilakukan pengoperasian pada fasilitas tersebut perlu dilakukan perhitungan matematis terhadap parameter-parameter termohidrolika untuk menentukan pengaturan (setting point) sistem pengendali sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Perhitungan yang teliti perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam pengaturan sistem pengendali yang dapat menyebabkan kondisi yang tidak diinginkan selama operasi. Selain

dari itu juga untuk menghindari pengulangan langkah prosedur yang tidak efisien akibat kesalahan pengaturan sistem pengendali. Sebagai contoh penentuan *setting point* tekanan operasi dalam tabung tekan harus mengacu pada kondisi daya atupun temperatur maksimum yang dapat dicapai di dalam kanal daya. Demikian juga penentuan *setting point* daya pemanas awal harus dibatasi sehingga temperatur masukan, pendingin ke kanal daya tidak terlalu tinggi demi mencegah terjadinya pendidihan sesuai dengan kriteria kondisi operasi reaktor tipe PWR.

Makalah ini mencoba menyajikan salah satu model numerik untuk menghitung distribusi temperatur dalam kanal daya Untai Termohidrolika. Sebagai contoh aplikasi model numerik tersebut akan dihitung distribusi temperatur pada kondisi nominal dengan daya 3.2 MW. Temperatur masukan kanal daya diambil antara 290° C sampai dengan 310° C. Hal ini untuk mengetahui sampai batas temperatur masukan berapa akan terjadi proses pendidihan pada kanal uji dan berapa temperatur permukaan bundel uji pada saat dicapai temperatur saturasi.

Berikut ini adalah data-data teknis bundel uji untuk tipe PWR yang digunakan dalam perhitungan :

Daya termal = 3,2 MW (dianggap merata sepanjang batang uji); tekanan operasi = 150 bar, jumlah batang = 36 (6x6), panjang batang uji = 3,66m, diameter batang uji = 0,0095 m, penampang tabung = (0,0787 x 0,0787) m, debit pendingin = 11,81 kg/det.



Gambar1. Penampang lintang simulasi bundel bahan bakar tipe PWR.

### METODE PERHITUNGAN

Didalam kanal daya akan terjadi proses fisika yaitu pengambilan panas dari batang uji

oleh pendingin yang mengalir di dalam kanal dan kenaikan temperatur pendingin akibat menerima panas. Besaran- besaran fisis yang menentukan laju perpindahan panas dari batang uji ke pendingin adalah sifat-sifat fisis pendingin (densitas, kapasitas panas, konduktivitas, viskositas) dan konfigurasi batang uji dalam kanal. Sifat-sifat fisis pendingin akan sangat tergantung pada temperturnya. Untuk memperoleh hasil perhitungan yang cukup teliti dapat digunakan metode iterasi sebagai berikut:

#### I. Menentukan temperatur saturasi dalam kanal.

Temperatur saturasi terendah akan terjadi pada posisi dengan tekanan yang paling rendah di dalam kanal. Penurunan tekanan di dalam kanal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{0,84 L V^2}{Re^{0,2} De 2g} \quad (1)$$

$P$  = penurunan tekanan (m),  $L$  = panjang kanal (m),  $De$  = diameter ekivalen (m),  $Re$  = bilangan Reynold,  $V$  = kecepatan alir pendingin (m/det),  $g$  = percepatan gravitasi m/det<sup>2</sup>. Bilangan  $Re$  dalam hal ini dihitung dengan harga viskositas pendingin pada temperatur rata-rata.

#### II. Menghitung temperatur pendingin dalam kanal

Perhitungan dilakukan dengan membagi panjang kanal menjadi beberapa segmen. Harga kapasitas panas pendingin dihitung pada temperatur dalam segmen tersebut.

Dari hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa panas yang diberikan batang uji akan sama dengan panas yang diterima oleh pendingin, dapat disusun persamaan :

$$Q = m C_p (Tf_2 - Tf_1) \quad (2)$$

$Q$  = panas yang diberikan batang uji antara posisi 1 dan posisi 2 (Watt);  $m$  = debit pendingin yang menerima panas (kg/det);  $C_p$  = kapasitas panas pendingin (J/kg C);  $Tf_2 - Tf_1$  = kenaikan temperatur pendingin pada suatu segmen.

Pada mulanya harga  $C_p$  dihitung dengan mengasumsikan kenaikan temperatur pada harga tertentu.  $C_p$  asumsi tersebut digunakan untuk menghitung kenaikan temperatur dengan persamaan (2). Apabila masih terdapat perbedaan yang cukup berarti dengan harga kenaikan temperatur asumsi awal maka diasumsikan kembali harga kenaikan temperatur yang baru. Demikian seterusnya hingga diperoleh harga yang sesuai.

### III. Menghitung temperatur dinding batang uji

Sebagai contoh dalam perhitungan ini digunakan korelasi perpindahan panas Dittus-Boelter untuk menentukan koefisien konveksi ( $h$ ) sebagai berikut :

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (3)$$

atau

$$h = 0,023k/De (De V \rho / Vis)^{0,8} . (Cp Vis/k)^{0,4} \quad (4)$$

$$q'' = h (Tw - Tf) \quad (5)$$

$h$  = koefisien konveksi ( $W/m^2K$ );  $k$  = konduktivitas panas pendingin;  $\rho$  = densitas pendingin ( $kg/m^3$ );  $Vis$  = viskositas pendingin ( $Ns/m^2$ );  $q''$  = fluks panas ( $w/m^2$ )

Pertama kali diasumsikan harga temperatur permukaan batang uji pada harga tertentu ( $Tw$ ). Kemudian dihitung harga koefisien konveksi pada temperatur rata-rata  $(Tw - Tf)/2$  sesuai dengan korelasi Dittus-Boelter. Harga  $Tw$  kemudian dihitung dengan persamaan (5). Apabila masih terdapat perbedaan yang cukup berarti dengan harga asumsi  $Tw$  awal maka diasumsikan kembali harga  $Tw$  baru. Demikian seterusnya sampai didapatkan harga yang sesuai. Semakin kecil selisih antara asumsi dengan harga perhitungan maka hasil yang diperoleh akan semakin teliti.

### IV. Menghitung temperatur dinding pemanas pada kondisi saturasi.

Sebagai contoh aplikasi model numerik ini digunakan korelasi Jeans dan Lottes untuk perhitungan temperatur permukaan batang uji sebagai berikut :

$$Tw = Ts + 4,45 e^{-P/62} q''^{0,25} \quad (6)$$

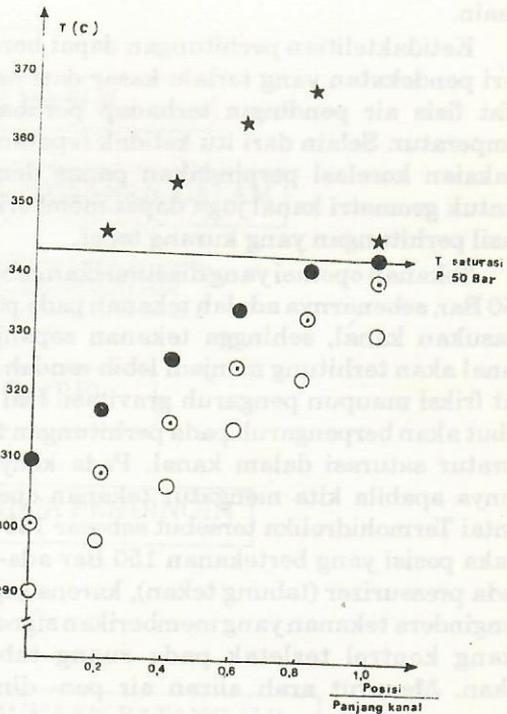
$Tw$  = temperatur dinding pemanas ( $C$ );  $Ts$  = temperatur saturasi ( $C$ );  $P$  = tekanan (bar);  $q''$  = fluks panas ( $Kw/m^2$ )

Metode perhitungan di atas dapat dituangkan ke dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Lampiran 1.

### HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA

Dari perhitungan tersebut di atas diperoleh grafik seperti terlihat pada Gambar 2.

Dari perhitungan diperoleh bahwa dengan asumsi tekanan operasi 150 Bar, korelasi Dittus-Boelter menyatakan bahwa temperatur saturasi di dalam kanal dicapai jika temperatur masukan 310 °C. Pendidihan mulai terjadi pada temperatur saturasi 343,2 °C, pada posisi yang



#### Keterangan:

★ = untuk  $T_{in} = 290^{\circ}C$ , ○ = untuk  $T_{in} = 300^{\circ}C$ ; ○ = untuk  $T_{in} = 310^{\circ}C$ ; = temp. permukaan batang uji

Gambar 2. Posisi/panjang kanal vs. Temperatur ( $^{\circ}C$ ).

mempunyai tekanan paling rendah yakni pada posisi keluaran kanal. Untuk kondisi saturasi tersebut korelasi Jeans dan Lottes memberikan hasil bahwa temperatur permukaan batang uji mencapai 345,4 °C.

Dari grafik terlihat bahwa temperatur permukaan batang uji menurun pada saat tercapai kondisi saturasi. Hal ini disebabkan karena dalam kanal mulai terbentuk uap yang membutuhkan kalor uap, sehingga panas dari permukaan batang uji akan diserap lebih banyak. Kenaikan temperatur pendingin terlihat linier sepanjang kanal pendingin karena distribusi daya listrik sepanjang batang uji linier, tidak seperti batang bahan bakar pada PLTN yang sesungguhnya dimana distribusi panas tergantung pada distribusi fluks neutron.

Batang uji sistem PWR menggunakan material INCONEL 600 dengan temperatur disain 500 °C. Apabila perhitungan tersebut teliti berarti bahwa pada temperatur masukan 310 °C meskipun di dalam kanal sudah mulai terjadi

pendidihan tetapi temperatur permukaan batang uji masih jauh dibawah batas temperatur disain.

Ketidaktelitian perhitungan dapat berasal dari pendekatan yang terlalu kasar dari harga sifat fisis air pendingin terhadap perubahan temperatur. Selain dari itu ketidak tepatan pemakaian korelasi perpindahan panas dengan bentuk geometri kanal juga dapat memberikan hasil perhitungan yang kurang tepat.

Tekanan operasi yang diasumsikan sebesar 150 Bar, sebenarnya adalah tekanan pada posisi masukan kanal, sehingga tekanan sepanjang kanal akan terhitung menjadi lebih rendah akibat friksi maupun pengaruh gravitasi. Hal tersebut akan berpengaruh pada perhitungan temperatur saturasi dalam kanal. Pada kenyataannya apabila kita mengatur tekanan operasi Untai Termohidrolika tersebut sebesar 150 Bar maka posisi yang bertekanan 150 Bar adalah pada pressurizer (tabung tekan), karena sensor pengindera tekanan yang memberikan signal ke ruang kontrol terletak pada ruang tabung tekan. Menurut arah aliran air pendingin,

posisi kanal uji adalah sebelum tabung tekan, maka tekanan pada posisi kanal uji PWR akan lebih tinggi sebesar penurunan tekanan dari posisi kanal uji sampai ke posisi tabung tekan. Untuk dapat menentukan penurunan tekanan tersebut harus dihitung hambatan yang ada antara kanal dengan tabung tekan secara keseluruhan sesuai dengan banyaknya belokan maupun geometri pipa-pipa pendingin. Hasil perhitungan dalam makalah ini mengambil angka-angka pesimis yang akan menghasilkan tingkat resiko perhitungan yang lebih tinggi dibanding tingkat resiko yang sesungguhnya.

Untuk memperoleh perhitungan yang lebih teliti kita dapat memilih korelasi perpindahan panas yang lebih sesuai dengan bentuk geometri kanal juga dengan memperhitungkan pengaruh *grade spacer* pada bundel uji terhadap penurunan tekanan.

Hasil perhitungan ini nantinya dapat dibandingkan dengan hasil percobaan untuk dapat dianalisis terhadap tingkat ketelitian dari alat pengindera yang terpasang pada fasilitas Untai Uji Termohidrolika tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Ansaldo, Technical Specification General Loop, Italia (1988).
2. El-wakil, MM. Nuclear Power Engineering, Mc. Grow Hill Book Company, New York (1983).
3. Todd, J.P. & Ellis H.B. Applied Heat Transfer, Harper & Row Publisher, New York (1982).
4. Khan, L.A. & Nabbi, R. Heat Transfer Analysis of Existing Heu and Proposed Leu Cores of Pakistan Research Reactor, Pakistan (1987).

#### DISKUSI

**Riyanto:**

Apakah program anda sudah diuji dengan program standar (paket) yang sejenis dan atau hasil penelitian/data yang sesungguhnya dari penelitian orang/peneliti lain.

**Nur Adi Uddin:**

Sampai saat ini belum, dan akan diuji bila paket program tersebut sudah kami peroleh serta karena penelitian terhadap fasilitas simulasi tersebut belum dapat dilaksanakan.

**Hendro:**

Mengingat bahwa penelitian ini menyangkut studi tentang keselamatan, apakah tidak sebaiknya programnya diperluas sampai menjangkau daerah pendidihan.

**Nur Adi Uddin:**

Kalau daerah pendidihan yang dimaksud adalah daerah fluks panas kritis hingga burn-out, memang akan lebih baik, sebab dalam percobaan nantinya akan dikaji kondisi seperti tersebut terutama dalam simulasi percobaan LOCA akibat pipa pecah.

LAMPIRAN 1.

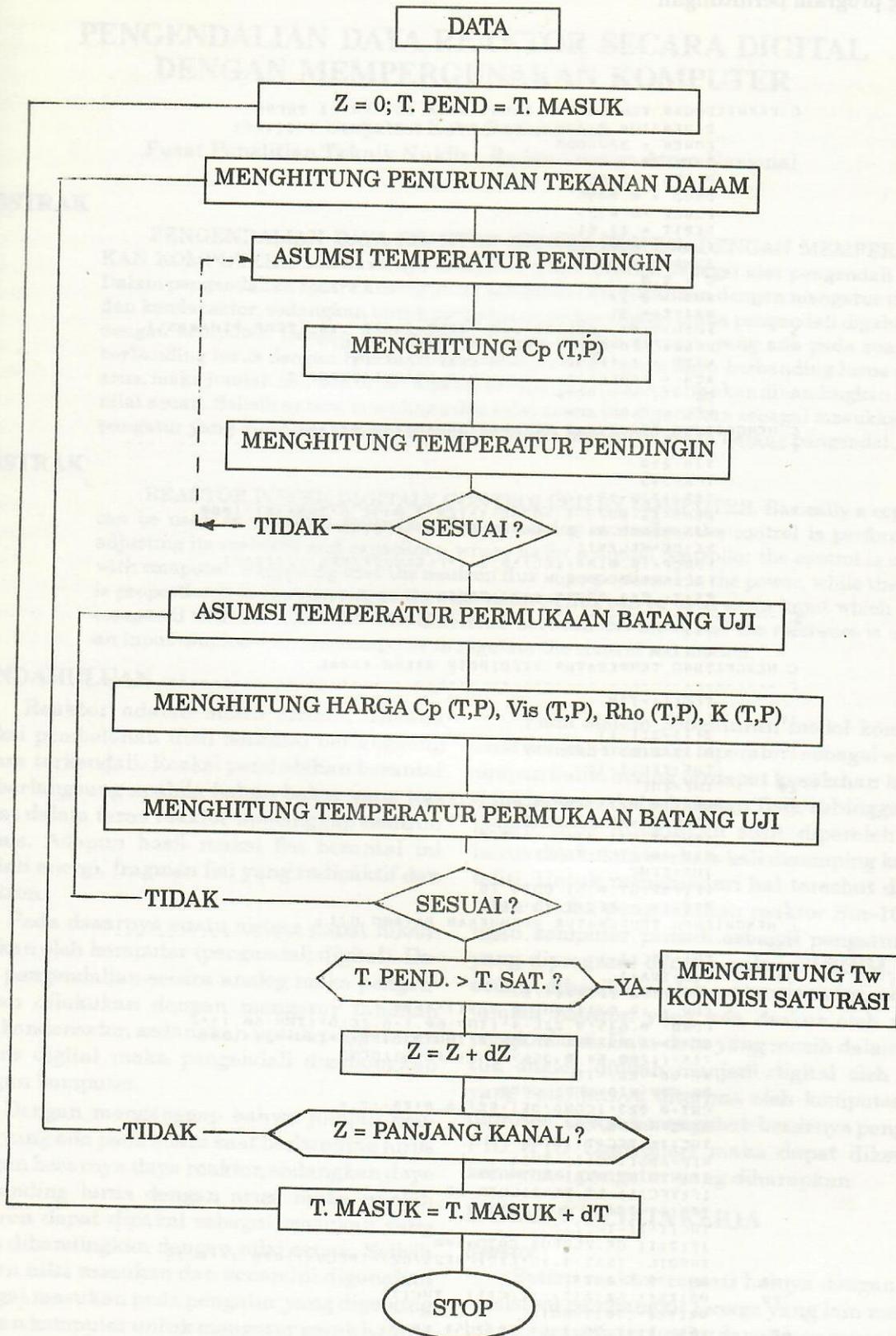


Diagram alir metode perhitungan temperatur dinding pemanas pada kondisi saturasi

LAMPIRAN 2.  
Listing program perhitungan

```

C PERHITUNGAN TEMPERATUR KANAL DAYA PVR UNTAI THERM.
  DIMENSION Z(100), TF(100), TFC(100), TUC(100)
  POWER = 3200000.
  SN = 20.
  PLENG = 3.66
  DROD = 0.0095
  PSHEL = 0.0787
  DEBIT = 11.81
  FLOW = 0.01503
  SUHROD = 36.
  G = 9.8
  PHI = 3.14
  WRITE(*,5)
5  FORMAT(4X,'POSISI',4X,'TEMP.FLUID',4X,'TEMP.PEMAHAS')
  HFLUX = POWER / (SUHROD * PHI * DROD * PLENG)
  WETP = (4 * PSHEL * SUHROD * PHI * DROD)
  ACH = PSHEL ** 2 - SUHROD * 0.25 * PHI * DROD ** 2
  DE = 4 * ACH / WETP
  VEL = FLOW / ACH
C MENGHITUNG PENURUNAN TEKANAN SEPANJANG KANAL.
C-----
  TIN = 290.
  TOA = 343.
  TPR = (TIN + TOA) / 2.
  DENS = (1.0029 - 1.5838E-4 * TPR - 2.847E-6 * TPR ** 2) * 1000
  VIS = ((200.54 - 0.3667 * TPR) * 1E-6) / DENS
  RE = DE * VEL / VIS
  PDROP = (0.0104 / (RE ** 0.2)) * PLENG / DE * VEL ** 2 / (2 * G)
  PRESS = 150. - PDROP
  TSAT = 244.079 + 0.6634 * PRESS
C-----
7  I = 1
  Z(I) = 0
C MENGHITUNG TEMPERATUR PENDINGIN DALAM KANAL
C-----
  TFC(I) = TIN
  I = I + 1
  Z(I) = Z(I - 1) * PLENG / SN
  THF = TFC(I - 1)
20  THF = THF
  CPF = (0.0211 * THF - 0.001) * 1000.
  DTFC = POWER / (SN * DEBIT * CPF)
  TFHC = TFC(I - 1) * 0.5 * DTFC
  FTD = ABS(THF - TFHC)
  THF = TFHC
  IF(FTD .GT. 0.5) GOTO 20
  TFC(I) = TFC(I - 1) + DTFC
C MENGHITUNG TEMPERATUR PERMUKAAN BATANG UJI
C-----
30  TWA = TFC(I - 1)
  TWA = TWA + 1
  THW = (TWA + TFC(I)) / 2.
  CPW = (0.0211 * THW - 0.0291) * 1000
  COND = 0.645 * 9.22E-4 * (THW - 60.) - 6.2E-6 * (THW - 60.) ** 2
  DENS = (1.0029 - 1.5838E-4 * THW - 2.847E-6 * THW ** 2) * 1000
  VIS = ((200.54 - 0.3667 * THW) * 1E-6) / DENS
  RE = DE * VEL / VIS
  PR = CPW * VIS * DENS / COND
  CHT = 0.023 * (COND / DE) * RE ** 0.8 * PR ** 0.4
  DTUC = HFLUX / CHT
  TUC(I) = TFC(I) + DTUC
  WTD = ABS(TUC(I) - TWA)
  IF(WTD .GT. 0.5) GOTO 30
  IF(TFC(I) .LT. TSAT) GOTO 10
  TFC(I) = TSAT
  TUC(I + 1) = TUC(I)
  IF(Z(I) .GE. PLENG) GOTO 100
  TUBOIL = TSAT * 4.45 * EXP((PRESS / 62) * (HFLUX / 1000.)) ** 0.25
  DO 300 I = 1, 21
300  WRITE(*,60) Z(I), TFC(I), TUC(I)
  WRITE(*,70) TUBOIL
60  FORMAT(4X,F6.2,5X,F8.3,5X,F8.3)
70  FORMAT(4X,'TEMP.DINDING KONDISI PENDIDIHAN =',F10.3)
  TIN = TIN * 5.
  IF(TIN .LE. 310.) GOTO 7
  WRITE(*,*) 'TSAT =', TSAT, 'PDROP =', PDROP, 'PRESS =', PRESS, 'VEL =', VEL
  STOP
  END

```