

PERHITUNGAN KARAKTERISTIK PIPA UJI NILO I PADA KEADAAN DUA FASA

Suryawinata

Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PERHITUNGAN KARAKTERISTIK PIPA UJI NILO I PADA KEADAAN DUA FASA. Salah satu sasaran penelitian yang diharapkan bisa tercapai dalam pipa uji NILO I adalah kondisi aliran dua fasa. Sampai saat ini belum bisa dipastikan apakah dengan NILO I ini bisa tercapai kondisi dua fasa atau tidak tanpa pembangkit tekanan (pressurizer). Untuk bisa memperkirakan kondisi operasi yang bagaimana yang memungkinkan terjadinya pendidihan, perlu dilakukan analisis dan perhitungan. pemanasan yang terjadi pada pipa uji adalah pemanasan secara konveksi dan seragam pada fluida yang mengalir di dalam pipa uji sehingga dihasilkan uap. Dengan mengetahui distribusi suhu fluida dan pipa serta distribusi tekanan sepanjang pipa uji maka dapat diketahui lokasi terjadinya titik didih pada pipa uji, fluks panas kritis maupun kualitas uap keluaran. Untuk menghitung distribusi suhu dan tekanan maka pipa uji dibagi menjadi segmen-segmen kecil sebanyak 100 segmen. Diawali dengan suhu dan tekanan masukan, laju alir dan panas yang diberikan kepada pipa uji, sebagai masukan segmen pertama, kemudian dikembangkan proses perpindahan panas yang mungkin terjadi pada fluida yang dipanaskan sepanjang pipa uji dan proses kerugian tekanan, yang dapat dibagi menjadi lima angka karakteristik perpindahan panas yakni air bawah jenuh, pendidihan bawah jenuh, pendidihan gelembung, pendidihan film dan pendidihan uap panas lanjut. Dengan menggunakan persamaan-persamaan yang berlaku untuk angka karakteristik perpindahan tersebut di atas dapat dihitung distribusi suhu dan tekanan sepanjang pipa uji. Dari perhitungan diperoleh hasil bahwa kondisi aliran dua fasa/pendidihan dapat terjadi pada pipa uji NILO I tanpa pembangkit tekanan. Pada tekanan 70 bar, laju alir 227,5 g/s, daya pipa uji 50 kW dan suhu masukan 238 °C terjadi pendidihan pada ujung pipa uji. Program ini sangat membantu mengarahkan eksperimen untuk aliran dua fasa sehingga memperlancar operasi NILO I.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF NILO I TEST SECTION IN TWO PHASE FLOW CONDITION. One of the research targets of NILO I test section is to utilize it in two phase flow condition. To date, no research has been done to ensure that the phase flow condition of NILO I can be reached without pressurizer. In order to have the operational condition where boiling occurred, calculations have to be done. The heat occurring in the test section is due to convection which is uniformly distributed into flowing fluid to produce vapour. By having the temperature distribution of fluid and test section and pressure distribution along the test section, it can be determined the boiling locations, critical heat flux and vapour quality. To calculate the distribution of temperature and pressure, the test section is divided into 100 small segments. The inlet temperature and pressure, flow rate and heating power are fed to the first segment, then the heat transfer process of the fluid is developed together with the pressure loss process which can be categorized into 5 numbers of heat transfer characteristic namely single phase fluid, subcooling boiling, bubble boiling, film boiling and superheated boiling. Using equations suitable for those numbers, the distribution of temperature and pressure along the test section can be calculated. Calculations show that the two phase flow condition can be reached without pressurizer. Boiling at the endpoint of test section occurs when 70 bar pressure, 227.5 g/s flow rate, 50 kW heating power and 238 °C inlet temperature. This research is very helpful to direct the two phase flow experiment of NILO I.

PENDAHULUAN.

Proses perpindahan panas dari kelongsong elemen bakar kepada fluida pendingin di dalam teras reaktor dapat disimulasikan pada fasilitas laboratorium termohidrolik NILO I, PPTN Ban-

dung. Kanal air diantara elemen bakar di dalam teras reaktor diwakili oleh sebuah pipa uji panjang 6 meter, diameter dalam 8 mm dan diameter luar 10 mm yang terbuat dari bahan

SS 316 dan mendapat pemanasan langsung dari arus listrik searah.

Salah satu penelitian yang diharapkan bisa tercapai dalam pipa uji NILO I adalah kondisi aliran dua fasa. Sampai saat ini belum bisa dipastikan apakah dengan NILO I bisa tercapai kondisi dua fasa atau tidak tanpa pembangkit tekanan. Kendala utama adalah tidak tersedianya fasilitas alat ukur suhu fluida pada pipa uji di daerah pemanasan langsung. Alat ukur suhu fluida yang tersedia hanya pada kedua ujung pipa uji di luar pemanasan, sehingga sulit memastikan kondisi aliran dua fasa, apakah sudah tercapai atau belum. Untuk bisa memperkirakan kondisi operasi yang bagaimana yang memungkinkan terjadinya pendidihan perlu dilakukan analisis dan perhitungan. Pemanasan yang terjadi pada pipa uji adalah pemanasan secara konduksi dan konveksi yang seragam pada fluida yang mengalir di dalam pipa uji sehingga dihasilkan uap. Dengan mengetahui distribusi suhu fluida dan pipa uji serta distribusi tekanan sepanjang pipa uji maka dapat diketahui lokasi terjadinya titik didih, fluks panas kritis (CHF) maupun kualitas uap keluaran. Program komputer untuk menghitung distribusi suhu dan tekanan ini dapat membantu mengarahkan eksperimen untuk mencapai aliran dua fasa. Penyajian laporan ini adalah pendahuluan, metodologi penyelesaian, pembahasan dan kesimpulan.

METODOLOGI PENYELESAIAN.

Untuk menghitung distribusi suhu dan tekanan sepanjang pipa uji digunakan metode perhitungan dan analisis. Pipa uji dibagi dalam 100 segmen kecil. Diawali dengan kondisi awal yakni suhu, tekanan, laju alir dan panas masukan pada pipa uji sebagai masukan segmen pertama, kemudian dikembangkan proses perpindahan panas yang mungkin terjadi pada fluida yang dipanaskan sepanjang pipa uji berikut proses kerugian tekanan yang dapat dibagi menjadi 5 angka karakteristik perpindahan panas (KL), yakni :

- KL = 0 untuk air bawah jenuh ($TW < T_{sat}$)
- KL = 1 untuk pendidihan bawah jenuh ($TW < T_{sat} < TW$)
- KL = 2 untuk pendidihan gelembung ($T = T_{sat}; X < X_{kr}$)
- KL = 3 untuk pendidihan film ($T = T_{sat}; X > X_{kr}$)
- KL = 4 untuk pendidihan uap panas lanjut ($T > T_{sat}$)

Dengan menggunakan persamaan-persamaan perpindahan panas dan persamaan keru-

gian tekanan yang berlaku untuk daerah-daerah tersebut di atas dan dengan bantuan paket program untuk menghitung sifat-sifat termodinamika nir dan uap untuk setiap perubahan suhu dan tekanan fluida sepanjang pipa uji dapat dihitung distribusi suhu fluida dan dinding pipa serta distribusi tekanan sepanjang pipa uji.

Perhitungan

Salah satu fenomena yang terjadi pada fluida yang mengalir di dalam pipa yang dipanaskan adalah terjadinya kerugian tekanan. Kerugian tekanan ini disebabkan oleh 3 faktor yakni: kerugian tekanan karena gesekan, percepatan fluida dan perbedaan ketinggian.

Kerugian karena gesekan:

- DPR = $0,5 \times DZ \times XI \times SM^2 / RHO / D$ (1)
- DZ = panjang segmen = 6 cm
- XI = $1,326 / ALOG(RW + 6 / RE)^2$ (2)
- RW = $ZK / D / 3710$ (3)
- XI = harga hambatan menurut VDI-WA Lb3, Gambar 2 [1]
- ZK = faktor kekasaran bahan [1]

Untuk KL = 1:

- FDP = $(1 + 3,09 \times (0,001 \times VRHO \times SQ / SM / DELHV)^{0,7} \times (7 - SQRT(1 + 48 \times VPH)))$ (4)
- VPH = $PH / PH \ 1$ (5)
- PH = bilangan fasa (kualitas uap)
- FDP = faktor hambatan menurut VDI-WA Hba8 (36) [1]
- DPR = $DPR \times FDP$

Untuk KL > / 2 VPH = 0

Kerugian tekanan karena percepatan fluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

- DPA = $SM^2 \times (1 / RHO - 1 / DM1)$ (6)
- SM = rapat arus massa
- RHO = rapat jenis jenuh
- DM1 = rapat jenis masukan

Kerugian tekanan karena perbedaan ketinggian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

- DPG = $RHO \ * \ GRAV \ * \ DZ$ (7)
- GRAV = 9,807

Fluk panas dari pemanasan pipa uji pada fluida yang mengalir di dalamnya akan menaikkan enthalpi fluida

$$\begin{aligned} \text{DELH} &= \text{Q/SMA/N} & (8) \\ \text{Q} &= \text{daya pipa uji} \\ \text{SMA} &= \text{laju aliran massa} \\ \text{SQ} &= \text{Q/(D x PI * HI)} \\ \text{SQ} &= \text{rapat arus kalor} \\ \text{SM} &= \text{SMA * 4/PI/D}^2 \\ \text{SM} &= \text{rapat arus massa} \end{aligned}$$

Perpindahan panas dari dinding pipa ke fluida pendingin tergantung pada koefisien perpindahan panas. Dengan menggunakan Muller, VDI - WA Hbb13 persamaan 60 angka perpindahan panas adalah

$$\begin{aligned} \text{ALB} &= \text{ALBO x VQ}^{\text{EQ}} \text{ x FP} & (9) \\ \text{ALBO} &= 25580 \times 0,72^{0,4} \times (\text{RP}/0,001)^{0,133} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VQ} &= 10) \\ \text{FP} &= \text{SQ}/150000 & (11) \\ &= 2,816 \times \text{PPK}^{0,45} + (3,4 + 1,7/ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FP} &= (1 - \text{PPK}^7) \text{ x PPK}^{3,7} & (12) \\ &= \text{ketergantungan DELT menurut} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EQ} &= \text{VDI - WA Hbb13 persamaan 56} \\ &= \text{Eksponen dari rapat arus ka-} \\ &= \text{lor} \\ &= \text{menurut VDI - WA Hbb13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PPK} &= \text{persamaan 54} \\ \text{P} &= \text{P/PK} \\ \text{PK} &= \text{tekanan} \\ \text{DELT2} &= 22,055 \\ &= \text{SQ/ALB} & (13) \end{aligned}$$

Fraksi massa uap kritis menurut VDI -WA Hbc(3) untuk tekanan 29,4 < P/bar < 98 dapat digunakan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Xkr} &= \text{XKRO x EXP (-0,0255 x P)} & (14) \\ \text{XKRO} &= 19,398 / ((\text{SQ}/1000)^{0,125} \times \text{SM}^{0,333} \times \\ &= (1000 \times \text{D})^{0,07} & (15) \end{aligned}$$

Untuk menghitung DELTO yakni perbedaan suhu pipa dengan fluida pada masukan pipa uji Z = 0 digunakan persamaan

$$\begin{aligned} \text{DELTO} &= \text{SQ/SM/CP/ZNPO}/1000 & (16) \\ \text{ZNPO} &= \text{NU/PE menurut VDI -} \\ &= \text{WA Hba3 persamaan 9A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times \text{XI8}/(1 + (\text{PR}^{0,6637} - 1) \times \\ &= \text{SQRT (XI8) x 12,7)} \\ \text{XI8} &= 0,125 / (0,79 \times \text{ALOG (RE) -} \\ &= 1,64)^2 [1] \text{ pers.10} & (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DELT} &= \text{DELTO x FDELT} \\ \text{FDELT} &= (\text{PRW/PR})^{0,14} \end{aligned}$$

Untuk KL ≥ 3, FDELT = (T/TW)^{0,18} [1], VDI-WA Gb5

$$\begin{aligned} \text{NU} &= \text{bilangan Nuselt} \\ \text{RE} &= \text{bilangan Reynold} = \text{SM x D/ETA} \\ \text{ETA} &= \text{viskositas} \\ \text{PRW} &= \text{bilangan Prandal pada suhu} \\ &= \text{dinding} \\ \text{PR} &= \text{Prandal pada suhu fluida} = \\ &= \text{ETA X CP /WLZ} \\ \text{WLZ} &= \text{konduktifitas panas fluida} \end{aligned}$$

Perhitungan setahap demi setahap untuk DELT dapat digunakan persamaan menurut persamaan 28 VDI-WA Hba7

$$\begin{aligned} 1 - [((\text{T}_w - \text{T}_s) / (\text{T}_w - \text{T}_s)_B)^{1/1-n} = \\ \text{T}_w - \text{T}_F / (\text{T}_w - \text{T}_F)_i & (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 0,8 - 0,1 \times 10^{(0,76 \times \text{P}^*)} \\ \text{P}^* &= \text{P/Pkr.} \end{aligned}$$

Besaran-besaran fisis air dan uap dapat dihitung dengan menggunakan paket program [3].

Dengan persamaan di atas bisa dicari suhu awal pipa uji, dengan jalan iterasi.

Dengan mengetahui suhu dan tekanan awal dapat dihitung rapat massa awal, kemudian enthalpi. Dengan mengetahui enthalpi dan tekanan awal dapat dihitung suhu fluida. Dengan mengembangkan angka karakteristik perpindahan panas (KL) sepanjang pipa uji, dapat dicari distribusi suhu pipa uji dan fluida juga distribusi tekanan serta kualitas uap yang dihasilkan.

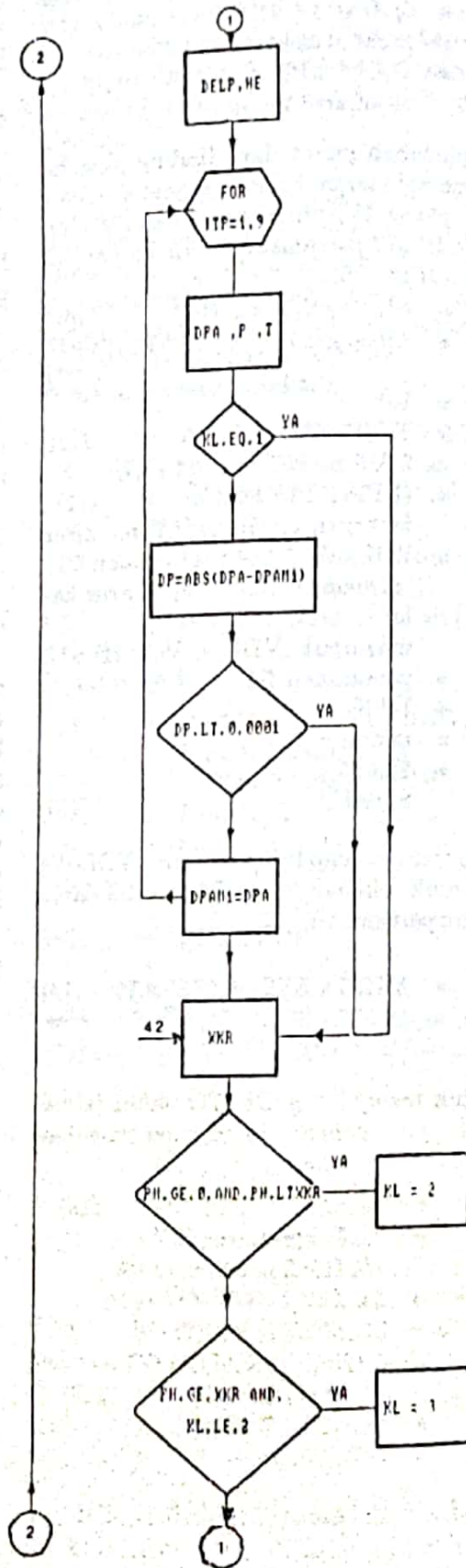
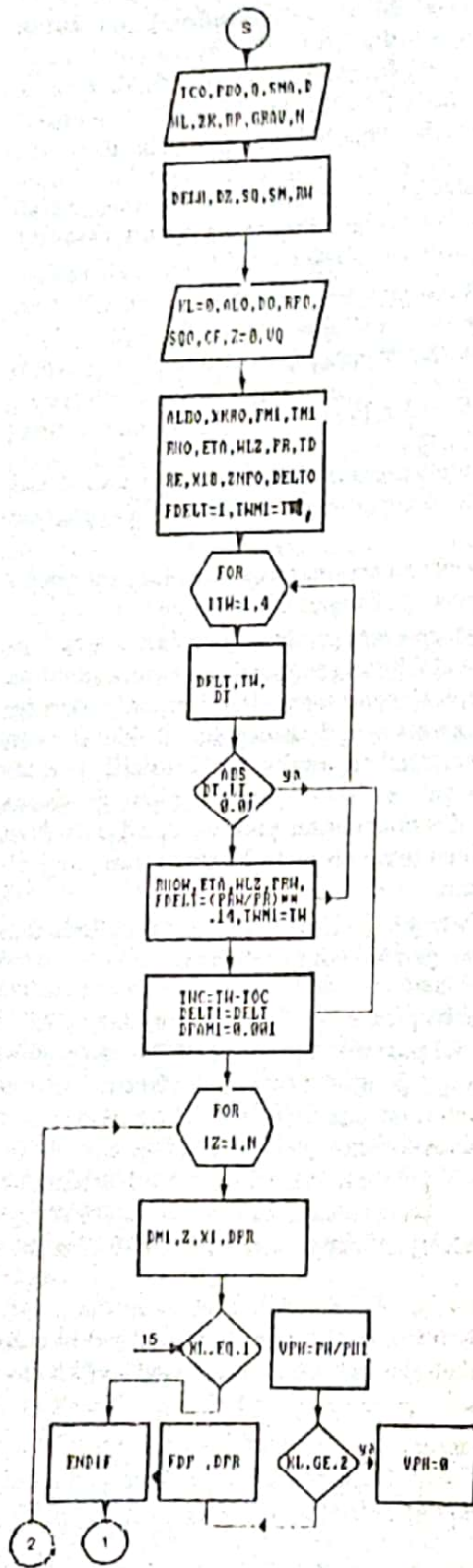
Data yang diperlukan untuk analisis dan perhitungan adalah :

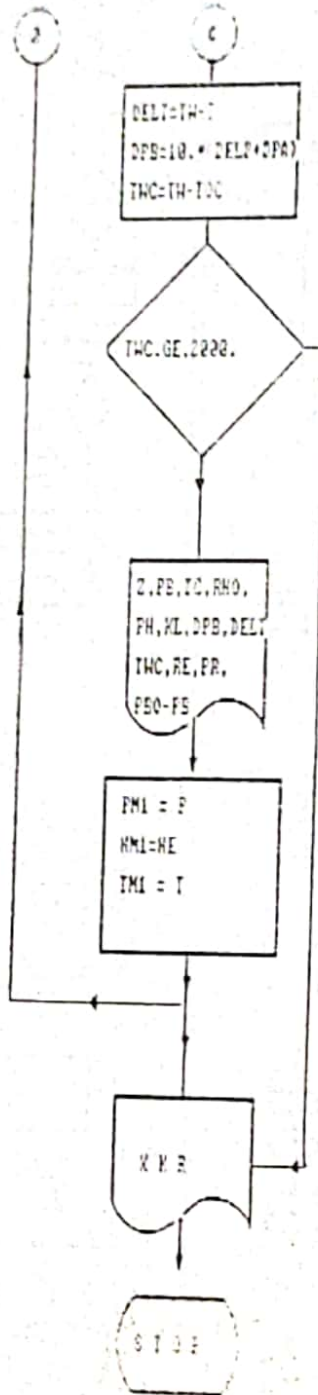
Geometri pipa uji	: tubular
Material pipa uji	: SS 316
Panjang pipa uji	: 600 cm
Diameterluar pipa	: 10 mm
Diameter dalam pipa	: 8 mm
Daerah tekanan operasi	: 40- 100 bar
Daerah panas masukan	: 25- 200 kW
Daerah laju aliran massa	: 0,05-0,35 kg/s air

Kondisi awal fluida diketahui yakni suhu masukan, laju aliran massa, tekanan dan daya pipa uji.

Diagram alir.

Untuk mempermudah perhitungan dibuat diagram alir (lihat Gambar 1)





Gambar 1. Diagram alir

Prosedur

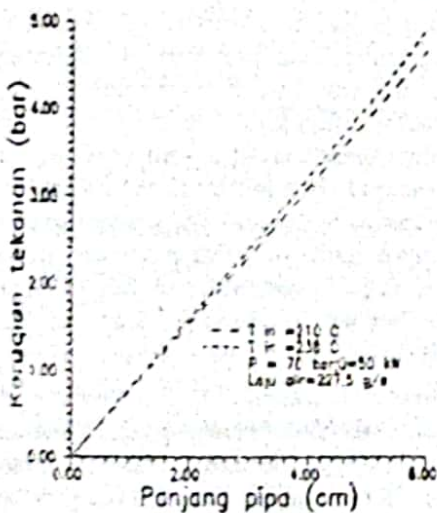
Prosedur yang dilakukan dalam melakukan perhitungan adalah:

1. Mendaftarkan data yang tersedia yaitu:
 - Kisaran panas masuk (Q)
 - Kisaran kecepatan massa (M)
 - Kisaran tekanan masuk (P)
 - Suhu fluida masukan (T)
2. Memanggil program untuk menghitung sifat termodinamika air dan uap pada suhu masukan (T) dan tekanan (P), untuk memperoleh data yang diperlukan yakni suhu jenuh, enthalpi jenuh, volume spesifik masukan, rapat jenis, enthalpi, viskositas, konduktivitas air/uap, kualitas uap.
3. Memasukkan harga-harga tersebut di atas untuk masukan pada komputer. Selanjutnya komputer akan melakukan pengolahan secara numerik.

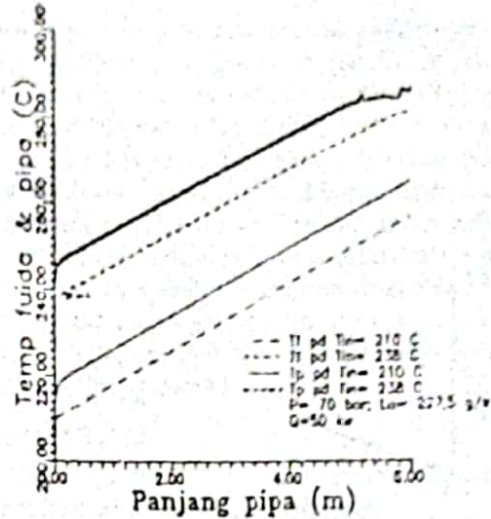
HASIL

Untuk mendapatkan karakteristik pipa uji dalam kondisi dua fasa, maka dilakukan perhitungan dengan memvariasikan parameter operasi dari NILO I yakni suhu masukan, tekanan masukan, laju alir dan daya pipa uji.

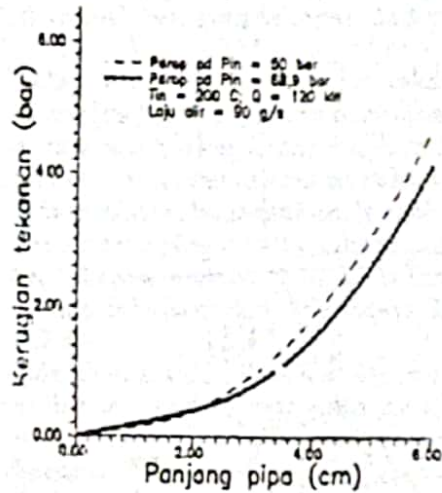
Dari hasil perhitungan, pengaruh suhu masukan, tekanan masukan, laju alir dan daya pipa uji terhadap distribusi suhu dan kerugian tekanan dapat dilihat masing-masing pada Gambar 2 (a,b), 3 (a,b), 4 (a,b) dan 5 (a,b)



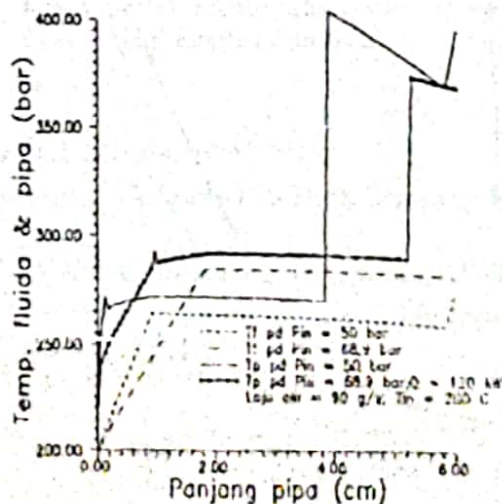
Gambar 2a. Pengaruh suhu masukan.



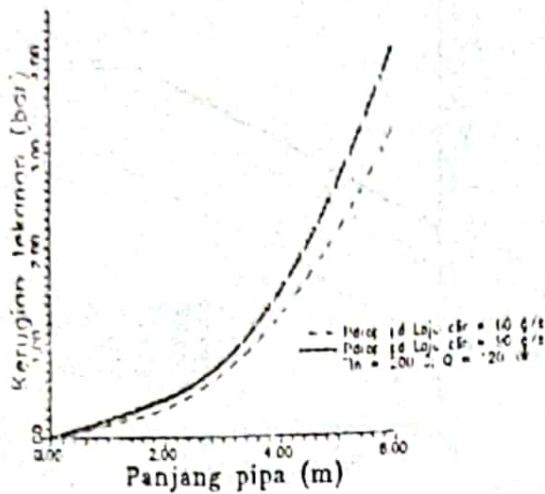
Gambar 2b. Pengaruh suhu masukan.



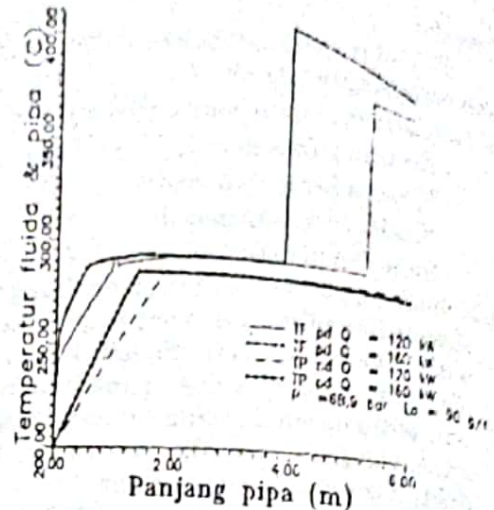
Gambar 3a. Pengaruh tekanan masukan.



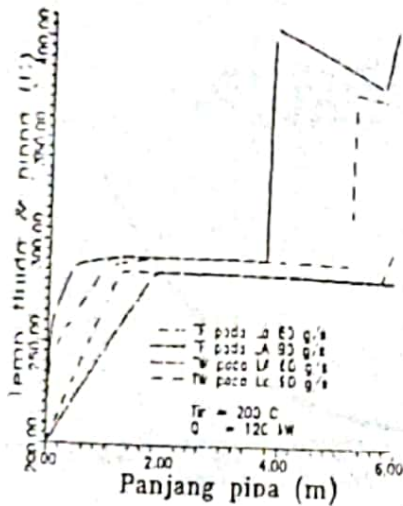
Gambar 3b. Pengaruh tekanan masukan.



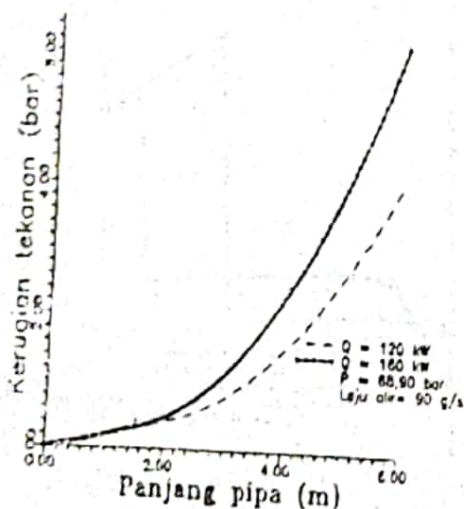
Gambar 4a. Pengaruh laju aliran massa.



Gambar 5b. Pengaruh daya pipa uji.



Gambar 4b. Pengaruh laju aliran massa.



Gambar 5a. Pengaruh daya pipa uji.

PEMBAHASAN

Pengaruh suhu masukan.

Dari Gambar 2a, untuk tekanan, laju alir dan daya pipa uji yang sama, sedangkan suhu masukan dinaikkan dari $210 \text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $238 \text{ }^\circ\text{C}$ maka pengaruhnya terhadap fluida adalah pada suhu masukan $210 \text{ }^\circ\text{C}$ belum terjadi pendidihan, jadi masih dalam keadaan satu fasa sedangkan pada suhu masukan $238 \text{ }^\circ\text{C}$ terjadi titik jenuh/pendidihan dekat ujung keluaran pipa. Pengaruhnya pada kerugian tekanan, pada suhu masukan lebih tinggi kerugian tekanan lebih besar (lihat Gambar 2b) dan distribusi suhu fluida dan pipa juga lebih tinggi (lihat Gambar 2a). Dengan suhu fluida masukan lebih tinggi maka fluida akan lebih cepat mencapai titik didih, sehingga kualitas uap yang dihasilkan lebih besar, mengakibatkan kerugian tekanan lebih besar. Kenaikan suhu masukan terhadap distribusi suhu fluida adalah suhu fluida lebih tinggi sebelum mencapai titik jenuh, sedangkan setelah mencapai titik jenuh distribusinya sama. Pengaruhnya terhadap distribusi suhu pipa adalah dengan naiknya suhu masukan maka distribusi suhu pada keadaan sebelum tercapai titik jenuh dan setelah tercapai kualitas uap kritis, lebih tinggi.

Pengaruh perubahan tekanan

Titik didih fluida tergantung pada tekanan operasi, makin tinggi tekanan operasi maka makin tinggi pula titik didih. Untuk daya pipa uji yang sama maka dengan menaikkan tekanan, titik didih akan naik sehingga kualitas uap yang dihasilkan akan turun. Kerugian tekanan berbanding lurus dengan kualitas uap, maka

turunnya kualitas uap akan berakibat turunnya kerugian tekanan (lihat Gambar 3b). Pengaruh terhadap distribusi suhu fluida adalah dengan menaikkan tekanan masukan maka distribusi suhu fluida & dinding pipa sampai suhu titik jenuh sebelum tekanan dinaikkan adalah sama sedangkan setelah tercapai titik jenuh pada tekanan yang sudah dinaikkan adalah lebih tinggi, ini bisa dilihat pada Gambar 3a.

Pengaruh laju aliran massa

Dari Gambar 4a, dengan bervariasi laju aliran masa pengaruhnya dapat dilihat pada persamaan kerugian tekanan yang mana makin besar laju aliran massa maka kerugian tekanan makin besar. Makin besar laju aliran massa maka makin kecil kenaikan enthalpi sehingga fluida akan lebih lambat mencapai titik didih. Pengaruhnya terhadap distribusi suhu fluida dan dinding pipa adalah lebih kecil sebelum mencapai titik didih dan setelah mencapai titik didih suhunya sama dan apabila mencapai kualitas uap kritis distribusi suhu pipa naik tajam, distribusi suhu pipa lebih rendah pada laju aliran massa lebih besar sedangkan distribusi suhu fluida akan naik bila mencapai kualitas uap sama dengan satu juga disini distribusi suhunya lebih rendah pada laju aliran massa lebih besar (lihat Gambar 4b).

Pengaruh daya pipa uji

Pengaruh daya pipa uji bisa dilihat pada Gambar 5a. Dengan bervariasi daya pipa uji maka makin tinggi daya pipa uji kenaikan enthalpi makin tinggi yang akan menghasilkan kualitas uap lebih tinggi. Karena kualitas uap berbanding lurus dengan kerugian tekanan maka kerugian tekanan akan bertambah besar. Semakin tinggi daya pipa uji makin tinggi pula distribusi suhu sebelum tercapai titik jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. VDI - Warmentlas 5. Auflage 1988, VDI Verlag GmbH, Dusseldorf (1988).
2. Collier, John G, Convective Boiling and Condensation, McGraw- Hill Book Company LTD., Oxford (1972).
3. Haar, L., Gallagher, J. S., Kell Springer, G. S., NBS/NRC Wasserdampf, verlag (1988).
4. Reynolds, William, C., and Perkins, Henry, C., Engineering Thermodynamik, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, International Student Edition, Tokyo (1977).

Makin besar laju aliran massa maka makin kecil kenaikan enthalpi sehingga fluida akan lebih lambat mencapai titik didih. Pengaruhnya terhadap distribusi suhu fluida dan dinding pipa adalah lebih kecil sebelum mencapai titik didih dan setelah mencapai titik didih suhunya sama dan apabila mencapai kualitas uap kritis distribusi suhu pipa naik kemudian distribusi suhu pipa menurun karena kerugian tekanan dan apabila kualitas uap /1 maka suhu pipa, juga fluida naik tajam (tercapai kondisi uap panas lanjut (lihat Gambar 5b).

KESIMPULAN.

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi tekanan, laju aliran massa dan daya pipa uji tetap, maka penambahan suhu masukan pipa uji menyebabkan naiknya distribusi kerugian tekanan dan distribusi suhu.
2. Pada kondisi suhu masukan, tekanan dan daya pipa uji tetap, maka penambahan laju aliran massa akan menyebabkan kerugian tekanan naik dan distribusi suhu turun.
3. Pada kondisi suhu masukan, laju aliran massa dan daya pipa uji tetap, maka penambahan tekanan operasi mengakibatkan penurunan tekanan dan kenaikan distribusi suhu.
4. Pada kondisi suhu masukan, laju aliran massa dan tekanan operasi tetap, maka penambahan daya pipa uji akan mengakibatkan kerugian tekanan dan distribusi suhu naik.
5. Program komputer ini bermanfaat untuk memperkirakan distribusi suhu dan tekanan sepanjang pipa uji serta juga dapat dipakai untuk menentukan kondisi operasi agar terjadi kondisi dua fasa.