

## PERHITUNGAN KERUGIAN TEKANAN ALIRAN DUA FASA PADA PIPA UJI VERTIKAL NILO I

Suryawinata, Dudung Abdul Rajak  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PERHITUNGAN KERUGIAN TEKANAN ALIRAN DUA FASA PADA PIPA UJI VERTIKAL NILO I. Salah satu fenomena yang terjadi pada fluida yang mengalir di dalam pipa yang dipanaskan adalah terjadinya penurunan tekanan. Fenomena ini perlu diteliti karena sangat berguna dalam merancang sistem pembangkit tenaga dan untuk perbaikan efisiensinya. Pemanasan akan mengakibatkan fluida menjadi cair jenuh. Daerah pemanasan ini mula-mula merupakan aliran satu fasa, kemudian pada pemanasan selanjutnya akan membuat sebagian cairan menjadi uap, sehingga terdapat campuran fasa uap dan cair yang membentuk aliran dua fasa. Pada proses pemanasan akan terjadi perubahan sifat termodinamik air yang dipanasi, antara lain enthalpi, viskositas, massa jenis, tekanan, kualitas uap dan volume spesifik yang umumnya harga-harga tersebut dalam perhitungan termal hidrolis dapat dibaca dari tabel. Dalam makalah ini dibuat program komputer untuk menghitung kerugian tekanan aliran dua fasa pada pipa uji vertikal NILO I. Program ini tersusun dari program-program elementer yang menghitung sifat-sifat termodinamika air dan uap pada temperatur dan tekanan masukan pipa uji yang diinginkan. Kemudian dengan variasi daya dan laju alir, dihitung kerugian tekanan dengan menggunakan persamaan yang diturunkan dari model aliran homogen. Program komputer ini bermanfaat untuk memprediksi kerugian tekanan sepanjang pipa uji NILO I, juga dapat dipakai untuk menentukan kondisi operasi agar terjadi aliran dua fasa sehingga akan menunjang kelancaran operasi NILO I.

### ABSTRACT

THE CALCULATION OF PRESSURE LOSS OF THE TWO PHASE FLOW ON THE VERTICAL TEST SECTION OF NILO I. One phenomenon occurred on the flowing fluid in the pipe is the pressure decrease. This phenomenon is studied because of its importance in the power generating system design. Heating will make the fluid saturate. At the beginning, the heating region is in one phase, then during the process, some liquid will be vapoured, and two phase flow formed. During this time, the thermodynamics properties of water i.e. enthalpy, viscosity, specific mass, pressure, vapour quality, and specific volume will be changed. In this paper, will be described one computer program, made to calculate pressure loss of the two phase flow on the vertical test section of NILO I. This program consist of many elementary routines that calculate the thermodynamics properties of water and vapour at the certain inlet temperature and pressure. The as the power and the speed varied, pressure loss will be calculated by using the equation derived from homogenous flow. This program is used to predict the pressure loss along the test section, can be used also to determine the operating condition to achieve the two phase.

### PENDAHULUAN

Salah satu fasilitas eksperimen yang dimiliki Pusat Penelitian Teknik Nuklir adalah Laboratorium Termal Hidrolis NILO I. Proses perpindahan panas dari elemen bakar ke medium pendingin dalam suatu PLTN dapat disimulasikan dalam NILO I, di mana kanal air di antara elemen bakar diwakili oleh pipa uji yang dipanasi tenaga listrik terbuat dari bahan SS-316.

Kerugian tekanan yang terjadi pada sistem pembangkit tenaga menarik perhatian untuk diteliti karena dapat mempengaruhi efisiensi

sistem. Makin besar kerugian tekanan maka biaya modal yang diperlukan makin tinggi. Sejalan dengan hal tersebut di atas perlu dilakukan penelitian kerugian tekanan pada pipa uji NILO I.

Salah satu fenomena yang terjadi pada fluida yang mengalir dalam pipa yang dipanaskan adalah terjadinya penurunan tekanan. Hal ini mengakibatkan tekanan keluaran lebih kecil dari pada tekanan masukan. Pemanasan yang terjadi pada fluida yang mengalir di dalam pipa uji adalah pemanasan secara konveksi

dan seragam. Pemanasan akan mengakibatkan fluida menjadi cair jenuh, pemanasan selanjutnya akan membuat sebagian cairan berubah menjadi uap sehingga terjadi aliran dua fasa.

Pada analisis regim aliran dua fasa ada tiga jenis pengandaian yang sering digunakan yaitu: model aliran homogen, model aliran pemisahan dan model pola aliran.

Akibat perubahan sifat termodinamika air karena pemanasan, maka dalam perhitungan aspek termal hidrolis selalu diperlukan tabel air dan uap. Perhitungan dengan menggunakan tabel-tabel tersebut adalah tidak praktis dan tidak efisien maka untuk mengatasi masalah tersebut digunakan program komputer sebagai pengganti tabel-tabel tersebut. Dengan program tersebut perhitungan akan lebih mudah dan cepat.

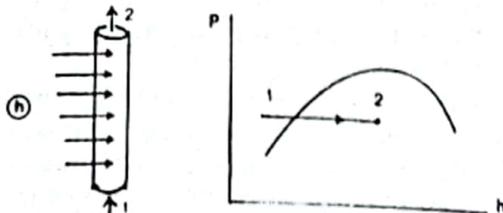
Dalam makalah ini dilakukan komputasi kerugian tekanan aliran dua fasa pada pipa uji vertikal NILO I dengan menggunakan metode model aliran homogen. Model ini dipilih karena pendekatan persoalan lebih mudah dan masih dipergunakan dalam industri- industri pembangkit uap, petroleum dan pendinginan. Hasil analisis menunjukkan bahwa 3 unsur yang menyebabkan kerugian tekanan, yakni kerugian tekanan karena gesekan, percepatan fluida dan perbedaan ketinggian (potensial) yang besarnya bergantung pada parameter operasi.

## TEORI

### Model aliran

Tekanan dapat berubah menjadi energi, seperti energi kinetik, panas, dan potensial (ketinggian). Jika tekanan diubah menjadi energi, tekanan yang dimiliki zat/media akan mengalami penurunan.

Pada analisis termodinamika terhadap pipa uji, dianggap bahwa tekanan fluida saat masuk dan keluar pipa uji adalah konstan. Dari diagram p,h (tekanan, entalpi) maka proses pemanasan (fluks panas Q) dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Pernyataan proses pemanasan fluida

Pada kenyataannya selama terjadi pemanasan sepanjang pipa uji terjadi perubahan tekanan ke dalam bentuk panas akibat gesekan, percepatan, dan juga karena perbedaan ketinggian pipa. Akibatnya tekanan fluida pada bagian keluaran lebih kecil dibandingkan dengan tekanan fluida pada masukan. Pada waktu fluida memasuki daerah pemanasan, bentuk fasa fluida adalah cair. Pemanasan akan mengakibatkan fluida berubah menjadi cair jenuh. Pemanasan selanjutnya akan membuat sebagian cairan berubah menjadi uap sehingga pada daerah ini terdapat campuran-campuran fasa uap dan cair, akibatnya daerah ini merupakan aliran dua fasa.

Pada analisis daerah/regim dua fasa ada tiga jenis pengandaian yang sering digunakan, yaitu:

### 1. Model jenis aliran homogen

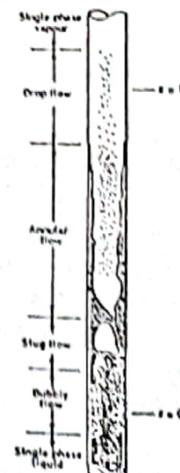
Model ini adalah model pendekatan yang paling sederhana karena aliran dua fasa dianggap sebagai aliran satu fasa yang memiliki sifat pseudo dengan sumbangan dari sifat-sifat fasa secara individu.

### 2. Model aliran pemisahan

Pada pendekatan model ini aliran dipandang sebagai dua fasa yang terpisah. Dua persamaan ditulis untuk setiap fasa.

### 3. Model pola aliran

Pada model ini aliran dua fasa dipandang tersusun menjadi satu dari tiga atau empat geometri tertentu yang telah diuraikan. Dasar penilaian geometri adalah konfigurasi pola aliran beragam yang ditemukan pada saat gas dan cairan mengalir bersama-sama pada saluran. Untuk itu, diperlukan kemampuan mengenal dan membedakan pola aliran yang satu dengan yang lain.



Gambar 2. Distribusi pola aliran pada pipa vertikal

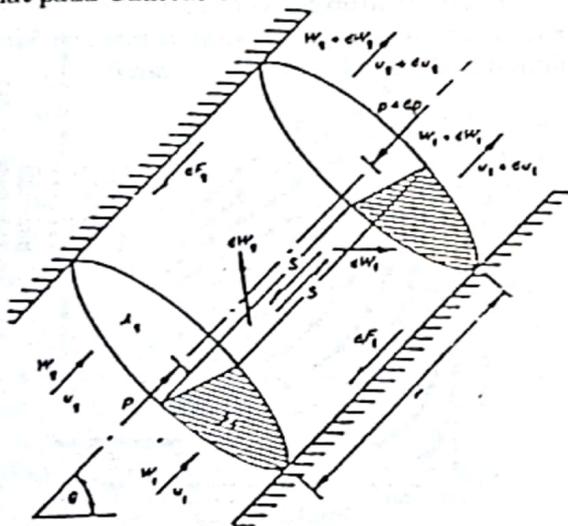
Pada pipa vertikal yang dipanasi, pola aliran yang terjadi digambarkan pada Gambar 2.

**Hukum dan asumsi yang digunakan**

Dalam analisis model aliran homogen digunakan hukum-hukum kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan energi. Sedang asumsi-asumsi yang digunakan adalah : uap dan cairan mempunyai kecepatan yang sama, terjadi keseimbangan termodinamik antara fasa cair dan fasa uap, serta penggunaan faktor friksi tunggal yang dipilih dan didefinisikan untuk aliran dua fasa.

**Kerugian tekanan**

Diagram gaya pada segmen pipa dz yang di dalamnya mengalir aliran dua fasa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram gaya-gaya pada segmen pipa

$A_f$  dan  $A_g$  masing-masing menggambarkan luas penampang yang ditempati cairan dan uap dengan kecepatan  $\mu_f$  dan  $\mu_g$ .  $dF_f$  dan  $dF_g$  adalah perubahan gaya untuk cairan dan uap.

Dengan menggunakan hukum-hukum dan asumsi-asumsi tersebut di atas, maka diperoleh hasil persamaan-persamaan kerugian tekanan aliran satu fasa dan dua fasa. Persamaan-persamaan tersebut, terdiri dari tiga bagian, yakni kerugian tekanan karena gesekan, kerugian tekanan karena percepatan, dan kerugian tekanan karena perbedaan potensial, yang dinyatakan sebagai berikut:

**1. Aliran satu fasa**

**a. Kerugian tekanan karena friksi**

$$\Delta pF1 = 2 f_{TP} G^2 v_f L/D \quad (1)$$

**b. Kerugian tekanan karena percepatan:**

$$\Delta p_{a1} = (v_f - v_{fi}) G^2 \quad (2)$$

**c. Kerugian tekanan karena perbedaan ketinggian:**

$$\Delta p_{z1} = g_f Z_{sc}/v_f \quad (3)$$

$$DP1 = \Delta pF1 + \Delta p_{a1} + \Delta p_{z1} \quad (4)$$

**2. Aliran dua fasa**

**a. Kerugian tekanan karena friksi:**

$$\Delta p_{f2} = 2 f_{TP} G^2 v_f (L-Z_{sc}) \{1 + v_{fg}/v_f (x_o/2)\} \quad (5)$$

**b. Kerugian tekanan karena percepatan:**

$$\Delta p_{a2} = G^2 v_{fg} x_o \quad (6)$$

**c. Kerugian tekanan karena ketinggian:**

$$\Delta p_{z2} = g_f \sin \theta (L-Z_{sc})/v_{fg} x_o \ln \{1 + (v_{fg}/v_f)\} \quad (7)$$

$$DP2 = \Delta p_{f2} + \Delta p_{a2} + \Delta p_{z2} \quad (8)$$

$$DPT = DP1 + DP2 \quad (9)$$

$$f_{TP} = 0,079 \{ G D/\mu \}^{-0,25}$$

$$Z_{sc} = \{ (H_f - H_{fi}) / H \} L$$

$$x_o = (H + H_{fi} - H_f) / H_{fg} = \text{kualitas uap keluaran}$$

$$g_f = \text{gaya gravitasi}$$

$$v_f = \text{volume spesifik fluida gas}$$

$$G = \text{kecepatan massa}$$

$$L = \text{panjang pipa}$$

$$D = \text{diameter pipa}$$

$$v_f = \text{volume spesifik fluida}$$

$$\mu = \text{viskositas}$$

$$H = \text{enthalpi}$$

**PERHITUNGAN DAN HASIL**

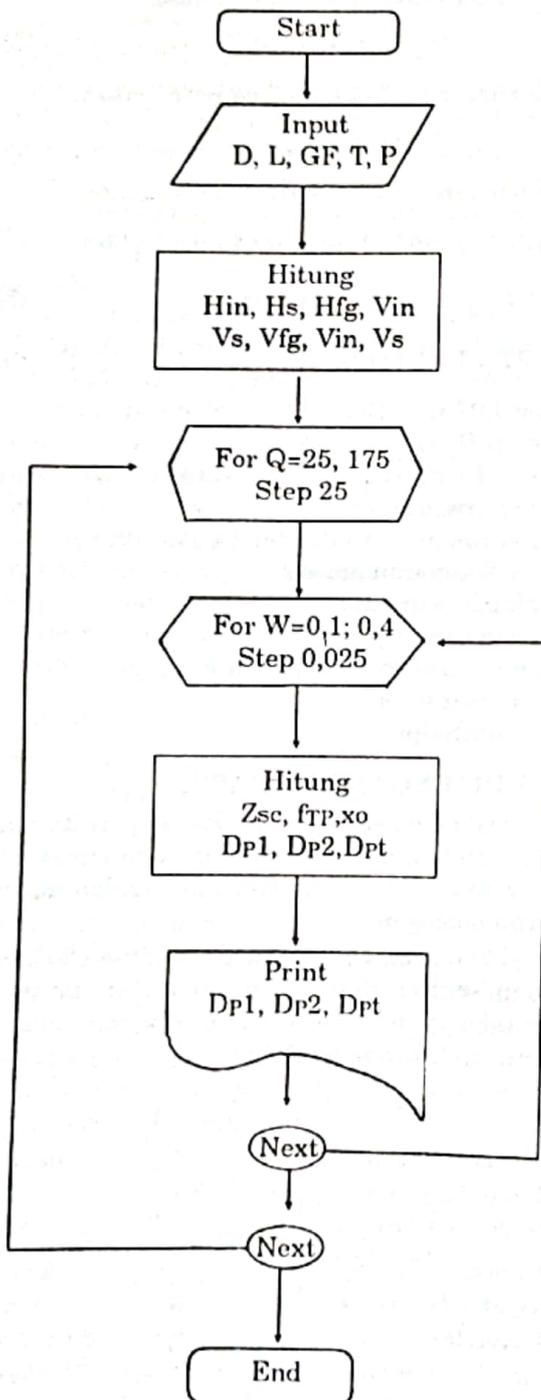
Dalam makalah ini dilakukan perhitungan kerugian tekanan aliran fluida pada pipa vertikal yang dipanasi dengan menggunakan model aliran homogen.

Model ini dipilih karena lebih sederhana dibandingkan dengan model aliran lainnya. Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan kerugian tekanan adalah:

Geometri pipa uji	:	tubular
Material pipa uji	:	SS-318
Panjang pipa uji	:	600 cm
Diameter luar pipa	:	10 mm
Diameter dalam pipa	:	8 mm
Daerah tekanan operasi	:	40-100 bar
Daerah panas input	:	25-175 kw
Daerah laju aliran massa	:	0,05-0,35 kg/s

Model permasalahan yang akan dibahas adalah mencari kerugian tekanan fluida yang dipanaskan dan mengalir pada pipa uji. Kondisi awal fluida yang diketahui adalah temperatur, laju alir, tekanan, dan jumlah panas yang diberikan pipa uji.

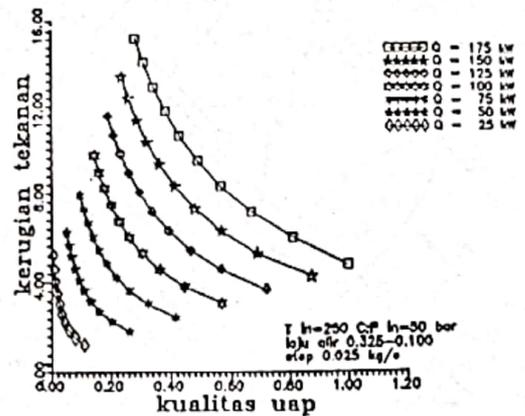
Untuk mempermudah perhitungan, maka dibuat diagram alir sebagai berikut:



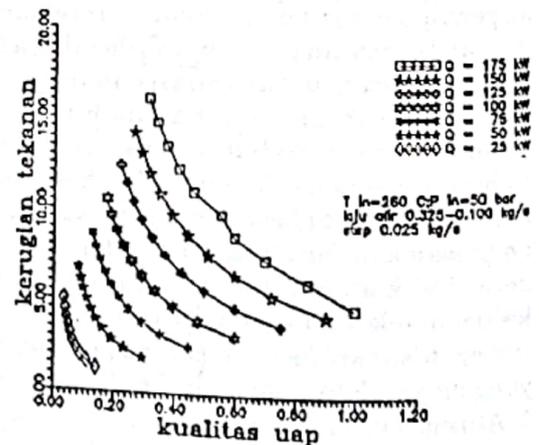
Prosedur yang dilakukan dalam melakukan perhitungan adalah:

- Mendaftarkan data-data yang tersedia, yaitu: kisaran panas masuk ( $Q$ ), kisaran laju aliran masuk ( $M$ ), kisaran tekanan masuk ( $P$ ), temperatur masukan ( $T_1$ ),
- Memanggil program untuk menghitung sifat-sifat termodinamika air dan uap pada temperatur masukan ( $T_1$ ) dan tekanan  $P$ , yaitu temperatur jenuh, enthalpi jenuh, volume spesifik masukan, volume spesifik fluida gas, viskositas kinematik uap jenuh, dan viskositas kinematik masukan.
- Dengan harga-harga tersebut kemudian dilakukan pengolahan secara numerik oleh komputer.

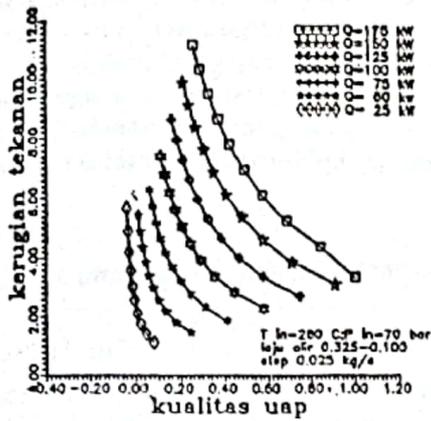
Hasil perhitungan kerugian tekanan untuk harga parameter operasi yang bervariasi dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6, 7, dan 8.



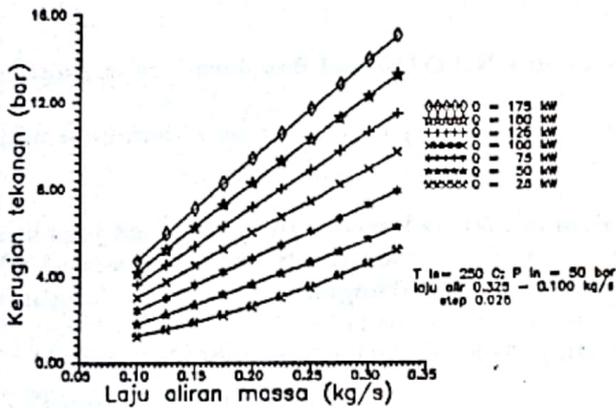
Gambar 4. Kerugian tekanan vs kualitas uap



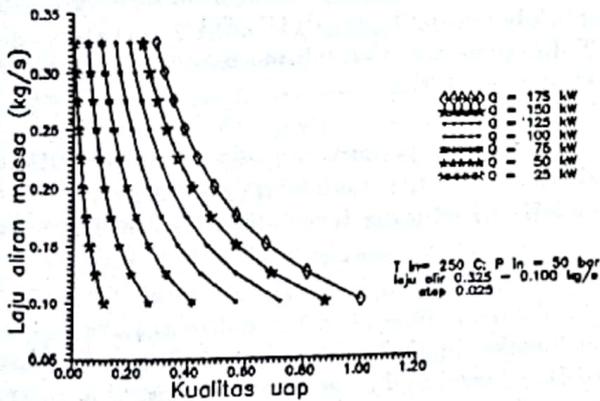
Gambar 5. Kerugian tekanan vs kualitas uap



Gambar 6. Kerugian tekanan vs kualitas uap



Gambar 7. Kerugian tekanan vs laju aliran massa



Gambar 8. Laju aliran massa vs kualitas uap

**PEMBAHASAN**

Dari gambar 4, 5, 6, 7, dan 8 dapat dipelajari pengaruh perubahan temperatur masukan, tekanan, laju alir, dan daya pipa uji terhadap kerugian tekanan maupun kualitas uap.

Dari gambar tersebut di atas, dengan memvariasikan laju aliran massa pengaruhnya dapat dilihat dari persamaan kerugian tekanan yang makin besar laju aliran massa, maka kerugian tekanan makin besar. Karena kerugian tekanan berbanding lurus dengan laju aliran massa, kurvanya akan naik (lihat Gambar 7). Semakin besar laju aliran massa, maka kenaikan enthalpi semakin kecil sehingga fluida akan lebih lambat mencapai titik didih yang akan menghasilkan kualitas uap lebih rendah (lihat Gambar 8). Dengan memvariasikan daya pipa uji, maka semakin tinggi daya pipa uji, kenaikan enthalpi akan lebih tinggi yang akan menghasilkan kualitas uap semakin tinggi. Karena kualitas uap berbanding lurus dengan kerugian tekanan, kerugian tekanan akan bertambah besar. Hal ini akan dapat dilihat dari penampilan kurvanya (Gambar 4, 5, dan 6). Dari Gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa dengan menaikkan temperatur masukan pipa uji, maka kerugian tekanan akan naik. Dengan menaikkan temperatur masukan, maka fluida akan mencapai titik jenuh lebih cepat sehingga kualitas uap yang dihasilkan lebih besar. Karena kualitas uap berbanding lurus dengan kerugian tekanan, maka kerugian tekanan akan bertambah besar ini dapat dilihat dari penampilan kurvanya (Gambar 4, 5, dan 6).

Dari Gambar 5 dan 6, dapat dilihat bahwa dengan menaikkan tekanan titik didih akan naik sehingga kualitas uap yang dihasilkan untuk daya pipa uji yang sama akan turun. Dari persamaan kerugian tekanan aliran dua fasa dapat dilihat bahwa kerugian tekanan berbanding lurus dengan kualitas uap, maka turunnya kualitas uap akan berakibat turunnya kerugian tekanan. Jadi, besarnya kerugian tekanan dipengaruhi oleh kondisi cairan masuk (P,T), laju aliran massa dan kualitas uap.

**KESIMPULAN**

Dari hasil analisis tersebut di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi tekanan masukan dari laju aliran massa tertentu, penambahan daya pipa uji akan mengakibatkan kenaikan kerugian tekanan dan kualitas uap.
2. Pada kondisi tekanan dan daya pipa uji tertentu penambahan laju aliran massa akan mengakibatkan kerugian tekanan naik dan harga kualitas uap menurun.
3. Untuk kondisi tekanan dan daya pipa uji tertentu, maka penambahan temperatur

- masukannya pipa uji menyebabkan turunnya kerugian tekanan.
4. Untuk kondisi daya pipa uji dan laju aliran massa tertentu penambahan tekanan masukan akan mengakibatkan penurunan kerugian tekanan dan kualitas uap.
  5. Program komputer ini bermanfaat untuk memprediksi kerugian tekanan sepanjang pipa uji NILO I, juga dapat dipakai untuk menentukan kondisi operasi agar terjadi aliran dua fasa (pendidihan) sehingga akan menunjang kelancaran operasi NILO I.

#### DAFTAR PUSTAKA

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

#### DISKUSI

##### Arlinah K.:

1. Apakah model aliran homogen saja yang cocok untuk NILO I? Jika tidak, kira-kira mana yang paling baik di antara tiga model yang Anda jelaskan?
2. Pada bab kesimpulan, selalu disebut kata "tertentu", apakah ini benar demikian atau "konstan"?

##### Suryawinata:

1. Tidak hanya aliran homogen saja yang cocok untuk NILO I, model aliran terpisah juga bisa dipakai. Saya pilih model aliran homogen karena sederhana, pendekatan persoalan lebih mudah dan masih digunakan dalam industri-industri pembangkit uap. Baik model aliran homogen maupun aliran terpisah hasilnya tidak banyak berbeda.
2. Yang kami maksudkan "tertentu" di sini adalah pada kondisi yang sama atau konstan.

##### Uju J.:

1. Menurut hukum Boyle-Gay Lussac  $PV/T = \text{konstan}$ , bila suhu naik tekanan akan turun. Jadi, peristiwa itu bukan merupakan fenomena lagi karena sudah menjadi hukum. Jadi, apa sebenarnya yang menjadi sasaran penelitian ini? Apakah mau menggunakan hukum Boyle-Gay Lussac atau menggunakan hukum tersebut untuk beberapa kasus di NILO I?
2. Bila P masukan dijaga konstan, sedangkan T diperbesar, maka volume mengecil akibatnya kecepatan besar. Apakah kondisi hukum tersebut dipenuhi?

##### Suryawinata:

1. Rumus  $PV/T = \text{konstan}$  berlaku untuk gas ideal. Proses pemanasan akan mengakibatkan aliran dua fasa, campuran uap dan cairan, jadi rumus di atas tidak bisa dipakai.
2. Rumus tersebut tidak bisa digunakan dalam NILO I. Rumus tersebut kelak untuk media tertutup yang tidak berubah jasa.

##### Hengky P.R.:

Dari persamaan koefisien gesek  $f_{PT}$  ( $\mu$ ) fungsi viskositas, apakah untuk satu fasa dan dua fasa mempunyai viskositas yang sama? Kalau viskositas tersebut berbeda, saya sarankan antara persamaan satu fasa dibedakan dengan persamaan dua fasanya.

##### Suryawinata:

Untuk satu fasa dan dua fasa, viskositasnya tidak sama. Terima kasih atas sarannya, memang sebaiknya berbeda, ada kesalahan penulisan. Untuk satu fasa simbolnya  $F_{f0}$  dan untuk dua fasa  $f_{TP}$ .