

## KAJIAN DALAM PENENTUAN FAKTOR FRIKSI ALIRAN PENDINGIN

Sukmanto Dibyo

### ABSTRAK

**KAJIAN DALAM PENENTUAN FAKTOR FRIKSI ALIRAN PENDINGIN.** Telah dilakukan komparasi berbagai faktor friksi dari korelasi empiris yang sering digunakan dalam perhitungan rugi tekanan suatu aliran fluida maupun aliran pendingin. Studi ini berlatar belakang di mana segala hal yang berhubungan dengan analisis sistem pendingin, menggunakan besaran faktor friksi yang tersedia di berbagai korelasi baik berupa persamaan eksplisit maupun implisit. Penentuan besarnya faktor friksi akan mempengaruhi hasil perhitungan rugi tekanan, oleh karena itu perlu dihimpun korelasi dari berbagai sumber acuan. Kondisi aliran turbulen dipilih pada rentang bilangan Reynolds 3000 hingga 100.000 pada saluran dengan permukaan halus. Perbedaan hasil yang signifikan tampak terjadi pada rentang bilangan Reynolds antara 10.000-40.000 dengan penyimpangan 2,49 % sampai 3,64 %, adapun di atas 40.000 penyimpangannya kurang dari 1,85 %. Jadi pada turbulensi yang tinggi, dampak penyimpangan faktor friksi terhadap rugi tekanan akan semakin kecil. Secara umum simpangan terjauh terjadi antara korelasi Fanning dengan korelasi Chen.

Kata Kunci : faktor friksi

### ABSTRACT

**STUDY ON DETERMINATION OF THE COOLING FLOW FRICTION FACTORS** Comparison of the various friction factor correlations has been carried out, these empirical correlations most used to calculate the pressure drop of fluid flow or a cooling flows. This study is done because the cooling system analysis is always used friction factor term as well as explicit and implicit form respectively. Determination of friction factor affect the pressure drop calculation, therefore many correlations taken from the references. Smooth surface and turbulence flow is chosen in the Reynolds number range of 3000 to 100.000. Significant different results occur at about Reynolds Number of 3000 to 40.000, there is the deviation of 2.49% to 3.64%. It so happening more than 40.000, the deviation less then 1.85%. In higher turbulence, effect of friction factor deviation to the pressure drop will be decrease. Afar deviation is occur between the Colebrook and Chen correlation respectively.

Keywords : friction factor.

### PENDAHULUAN

Dalam rangka pemanfaatan Reaktor GA Siwabessy, penelitian terhadap parameter yang terkait dengan sistem pendingin perlu dilakukan. Gagasan penelitian ini berlatar belakang pada keadaan di mana segala hal yang berkaitan dengan analisis sistem pendingin, senantiasa tidak meninggalkan perhitungan rugi tekanan. Sementara itu rugi tekanan aliran dapat diakibatkan oleh hilangnya energi karena gesekan permukaan saluran, belokan dan perubahan penampang aliran. Gesekan permukaan dipengaruhi oleh faktor friksi. Korelasi Colebrook, Blasius, Chen, Von-Karman-Nikuradse dan sebagainya telah dimanfaatkan untuk opsi

penentuan faktor friksi di beberapa paket program komputer.

Untuk perhitungan rugi tekanan pada sistem reaktor nuklir umumnya digunakan aproksimasi bahwa permukaan saluran aliran senantiasa halus (*smooth pipe*). Berbagai korelasi parameter faktor friksi dapat ditemukan dari sumber-sumber data acuan. Saat ini telah tersedia berbagai persamaan faktor friksi baik berupa persamaan eksplisit maupun implisit dengan berbagai batas keberlakuan untuk masing-masing korelasi. Penyelesaian persamaan implisit dapat dikerjakan secara iteratif.

Penggunaan persamaan kesetimbangan massa, energi dan momentum bersifat tetap dan kekal. Sedangkan itu, persamaan faktor friksi

tidaklah demikian yang selalu berkembang dari waktu ke waktu. Menurut catatan yang berhasil dihimpun lebih dari 12 korelasi, lazim digunakan dalam analisis yang berkaitan dengan aliran fluida [1]. Oleh karena itu maka hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih khususnya pemahaman dalam penggunaan korelasi faktor friksi atau setidaknya mengetahui besarnya penyimpangan antar korelasi faktor friksi pada variasi bilangan Reynolds.

Bertolak dari uraian yang dikemukakan di atas maka tulisan ini mempunyai tujuan yakni: Mengetahui besarnya penyimpangan antar korelasi faktor friksi untuk dapat difahami penggunaannya dalam perhitungan rugi tekanan sistem pendingin khususnya dan aliran fluida pada umumnya. Kemudian mendiskripsikan berbagai masalah yang terkait dengan faktor friksi pada aliran pendingin.

**TEORI**

Secara keseluruhan, rugi tekanan aliran dapat diakibatkan oleh hilangnya energi karena gesekan permukaan saluran, belokan dan perubahan bentuk/ukuran penampang aliran. Gesekan antara dinding permukaan saluran/pipa dengan aliran adalah salah satu variabel yang menyebabkan friksi pada fluida mengalir. Fanning merumuskan

besaran kerugian oleh friksi ini di dalam saluran lurus sebagai berikut: [2]

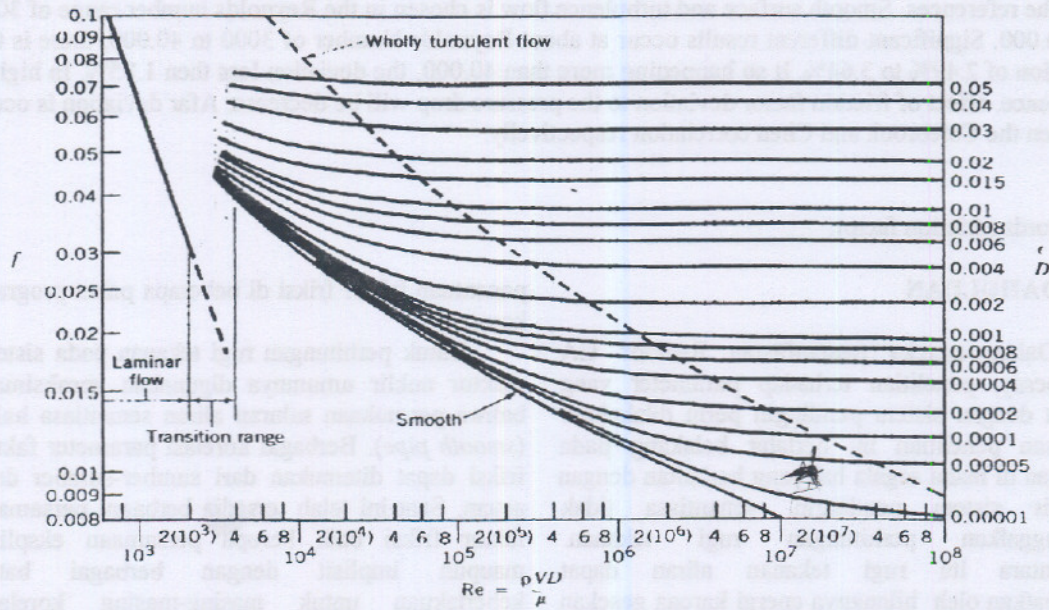
$$H_f = 4f \frac{L V^2}{D 2gc}$$

$$f = \phi(N Re)$$

dengan f : faktor friksi sebagai bilangan Reynolds.

- L : panjang saluran
- D : diameter saluran
- V : kecepatan aliran
- gc : konversi faktor gravitasi.

Gambar 1. menunjukkan hubungan bilangan Reynolds dengan faktor friksi yang dikenal dengan diagram Moody [3]. Untuk pipa halus (*smooth pipe*) tampak terletak paling bawah dari deretan kurva yang mana tiap kurva memiliki perbedaan kekasaran permukaan pipa. Faktor friksi dapat diperoleh dari data pengamatan (empiris). Pada bilangan Reynolds kurang dari 2100, kondisi aliran bersifat laminar. Pada kondisi ini kurva berbentuk lurus. Rentang transisi antara laminar dan turbulen sekitar  $2100 < Re < 3000$ . Dalam operasi pendinginan, pada umumnya dikondisikan pada bilangan Reynolds lebih dari 3000.



Gambar 1. Diagram Moody

Berbagai korelasi faktor friksi telah banyak dipublikasikan, baik yang berbentuk eksplisit maupun implisit. Berikut ini beberapa kutipan korelasi yang berbentuk eksplisit yang dapat dipakai untuk menentukan faktor friksi :

**Swamee and Jain :**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[ \left( \frac{6.97}{Re} \right)^{0.9} + \frac{k/D}{3.7} \right] \dots\dots\dots (3)$$

**Chen :**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[ \frac{k/D}{3.7065} - \frac{5.0452}{Re} \log a \right] \dots\dots\dots (4)$$

di mana :

$$a = \frac{k/D}{2.8257}^{1.1098} + \left( \frac{7.149}{Re} \right)^{0.8681}$$

**Naaland :**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3.6 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{k/D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \dots\dots\dots (5)$$

**Zigrang :**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[ \frac{k/D}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log a \right] \dots\dots\dots (6)$$

di mana :

$$a = \frac{k/D}{3.7} + \frac{13}{Re}$$

Bentuk korelasi implisit untuk faktor friksi dikemukakan oleh Colebrook dan Nikuradse adalah sebagai berikut : [4]

**Colebrook :**

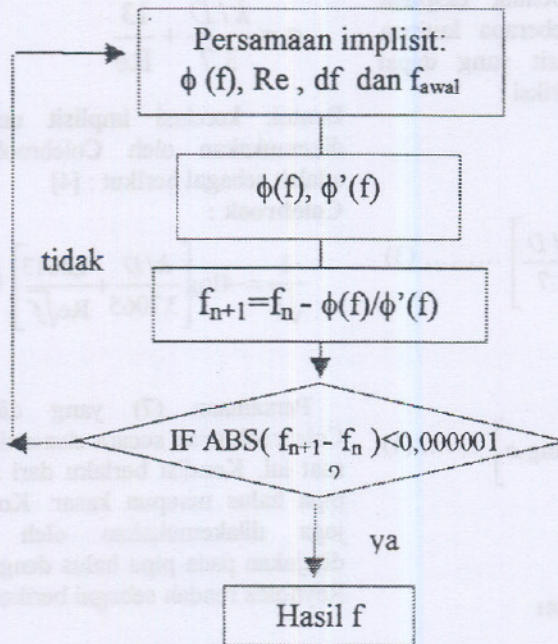
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[ \frac{k/D}{3.7065} + \frac{1.2613}{Re \sqrt{f}} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan (7) yang dikembangkan oleh Colebrook telah secara ekstensif digunakan hingga saat ini. Kondisi berlaku dari rejim transisi pada pipa halus maupun kasar. Korelasi faktor friksi juga dikemukakan oleh Nikuradse yang ditunjukkan pada pipa halus dengan daerah bilangan Reynolds rendah sebagai berikut : [5]

$$\sqrt{1/f} = 2.0 \log(Re \sqrt{f}) - 0.8 = 2.0 \log \left[ \frac{Re \sqrt{f}}{2.51} \right] \dots\dots\dots (8)$$

**METODA**

Korelasi yang berbentuk persamaan eksplisit dihitung secara langsung/manual sedangkan yang berbentuk implisit dikerjakan dengan metoda penyelesaian iteratif. Korelasi yang diuraikan di atas, dijadikan obyek untuk diamati pada rentang bilangan Reynolds antara 3000 sampai 90.000 di mana pada rentang ini berlaku/valid untuk korelasi-korelasi tersebut. Diagram algoritma penyelesaian iterasi ditampilkan pada gambar 2 berikut : [6]



Gambar 2. Algoritma Penyelesaian Implisit

keterangan :

$\phi(f)$  = persamaan fungsi f.

$\phi'(f) = \phi(f) - \phi(df) / (df)$

Berikut ini program pendek yang menyelesaikan persamaan implisit menghitung faktor friksi untuk bilangan Reynolds 90000 memakai metoda Newton-Raphson :

```

CLS : RE = 90000
OPEN "implcob.dat" FOR OUTPUT AS #1
5000 'SUB NEWTON-RAPHSON =====suk
    Xold = .001: delX = .0001: 'guess
    iterasi = 1
5010 x = Xold
    GOSUB 5100
    FXold = FX
    x = Xold - delX
    GOSUB 5100
    FXdel = FX
    Faksen = (FXold - FXdel) / delX
    'PRINT "Fx, x, Faksen,=", fx; x; Faksen: END
    Xnew = Xold - (FXold / Faksen)
PRINT USING "Xnew,Xold= ###.##### ###.#####"; Xnew; Xold
PRINT #1, USING "Xnew,Xold= ###.##### ###.#####"; Xnew; Xold
    IF ABS(Xnew - Xold) < .000001 THEN GOTO 5200
IF iterasi > 18 THEN END
    Xold = Xnew
  
```

```
iterasi = iterasi + 1
GOTO 5010
5100 'Persamaan friksi (Colebrook):
FX = -4 * LOG(.0006 / 3.7 + 1.26 / (RE * SQR(x))) / LOG(10) - (1 / (SQR(x)))
RETURN
5200 PRINT #1, " FX="; FX; " dan  friksi="; x
      PRINT " FX="; FX; " dan  friksi="; x: END

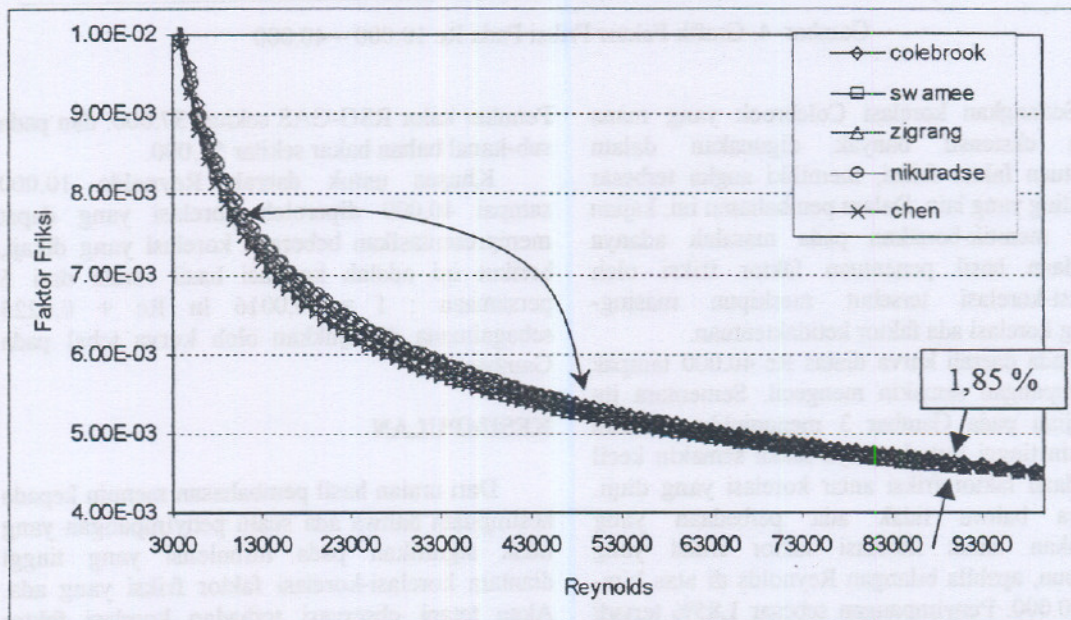
Xnew,Xold= 0.00213 0.00100
Xnew,Xold= 0.00368 0.00213
Xnew,Xold= 0.00488 0.00368
Xnew,Xold= 0.00523 0.00488
Xnew,Xold= 0.00525 0.00523
Xnew,Xold= 0.00525 0.00525
FX=-1.417217E-02 dan  friksi= 5.242825E-03
```

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan faktor friksi untuk aliran turbulen ditunjukkan pada gambar 2, di sini tampak bahwa angka Re kurang dari 3000 ( $Re < 3000$ ) tidak dibahas mengingat bahwa daerah laminer tersebut tidak mengungkap suatu perbedaan diantara korelasi yang dikaji.

Sedangkan angka Reynolds 2100 sampai 3000 merupakan daerah transisi yang sangat sulit diprediksi [5].

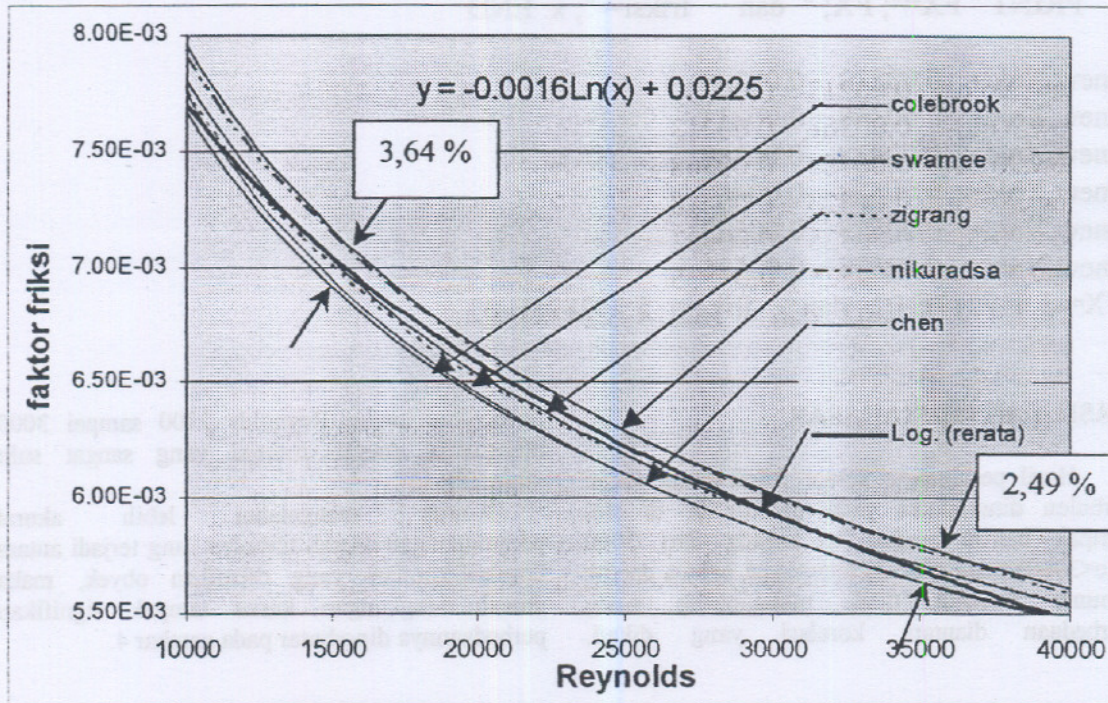
Untuk mengetahui lebih akurat penyimpangan daerah turbulen yang terjadi antara korelasi-korelasi yang dijadikan obyek, maka daerah lengkungan kurva tampak signifikan perbedaannya diperbesar pada gambar 4.



Gambar 3. Grafik Faktor Friksi Pada Permukaan Halus

Pada daerah Re antara 10.000 sampai 40.000 tampak penyimpangan yang cukup signifikan sebagaimana dapat dilihat secara jelas yang disajikan terpisah pada Gambar 4. Dalam hal ini penyimpangan bergerak dari 3,64% menuju

2,49%. Di daerah tersebut, korelasi Chen menunjukkan angka faktor friksi yang paling rendah dibandingkan korelasi yang lain dan oleh karena itu pula kerugian energi akibat friksi akan cenderung lebih kecil.



Gambar 4. Grafik Faktor Friksi Pada Re 10.000 – 40.000

Sedangkan korelasi Colebrook yang mana secara ekstensif banyak digunakan dalam penentuan faktor friksi, memiliki angka terbesar dibanding yang lain. Dalam pembahasan ini, kajian hanya menitik-beratkan pada masalah adanya perbedaan hasil penentuan faktor friksi oleh korelasi-korelasi tersebut meskipun masing-masing korelasi ada faktor ketidakpastian.

Pada daerah kurva diatas Re 40.000 tampak penyimpangan semakin mengecil. Sementara itu penyajian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi turbulensinya maka semakin kecil perbedaan faktor friksi antar korelasi yang diuji. Artinya bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan untuk korelasi faktor friksi yang manapun, apabila bilangan Reynolds di atas kira-kira 90.000. Penyimpangan sebesar 1,85% terjadi pada bilangan Reynolds 90.000. Sebagai catatan informasi bahwa bilangan Reynolds pada sisi pipa

Penukar kalor RSG-GAS sekitar 37.000, dan pada sub-kanal bahan bakar sekitar 51.000.

Khusus untuk daerah Reynolds 10.000 sampai 40.000 diperoleh korelasi yang dapat merepresentasikan beberapa korelasi yang dikaji, berikut ini adalah korelasi hasil rerata dari 5 persamaan :  $f = -0,0016 \ln Re + 0,0225$  sebagaimana ditunjukkan oleh kurva tebal pada Gambar 4.

## KESIMPULAN

Dari uraian hasil pembahasan menuju kepada kesimpulan bahwa ada suatu penyimpangan yang tidak signifikan pada turbulensi yang tinggi diantara korelasi-korelasi faktor friksi yang ada. Akan tetapi observasi terhadap korelasi faktor friksi yang telah dikerjakan, hanya memiliki batas keberlakuan bilangan Reynolds tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

1. GARRY, "Alternate to Standard Friction Factor Equation", Oil & Gas Journal Technology, april 1985.
2. MC.CABE, "Unit Operation of Chemical Engineering", Mc.Graw Hill.Book Co.
3. KEN EDWARDS, PH.D," Moody Friction Factor Calculator", LMNO Engineering Research and Software Ltd, <http://www.lmnoeng.com/moody.htm>, 2001.
4. EFUNDA, "friction Calculation for Fluid Flow in a pipe", <http://www.efunda.com/formulae/fluid>, 2002.
5. ELLING SLETFJ et. al, "Flow Experiments in Coated and Plain Pipes", Departement of Petroleum Eng. Norwegian University of Science and technology, 1997.
6. TATANG SOERYAWIJAYA, "Pengantar Komputasi Proses", Diktat Kuliah TK-663, Bab.6 hal.236, ITB 1992.

## DISKUSI

### Pertanyaan (Endiah PH) :

1. Kenapa kondisi laminer tidak dimasukkan dalam kajian ini ?
2. Bagaimana dengan faktor ketidaktentuan ?

### Jawab :

1. Karena kondisi yang muncul dalam problem aliran pendingin umumnya adalah turbulen. Dalam kajian ini belum/tidak ditemukan adanya problem penentuan faktor friksi oleh aliran laminer.
2. Faktor ketidaktentuan tidak dikonsiderasi dalam kajian ini, yang diamati hanya penyimpangan faktor friksi oleh korelasi yang ada.

### Pertanyaan (Setiyanto) :

1. Mohon dibedakan antara hasil dan kesimpulan ?

### Jawab :

Terima kasih atas koreksi dan arahnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. GARY, "Almanac to Standard Plastic Parts Design", Oil & Gas Journal Technology, April 1981
2. MIL-CASE "An Overview of Chemical Engineering", McGraw Hill Book Co.
3. KEN EDWARDS, PH.D. "Moody Plastic Parts Catalog", LINDO Engineering Research and Software Ltd. <http://www.lindo.com/cont/cont.htm>
4. BUNDA "GPRS Catalogue for this file is a pdf", <http://www.standa.com/standa.html>
5. SLEING SLETHU et al. "Flow Resistance in Conical and Flare Pipes", Department of Petroleum Engineering, University of Science and Technology 1997.
6. TATANG SOBRYAWA, "Tegangan Tegangan Proses", Datas Katalog IR-002, Bab 6, Ed. 1992

DISKUSI

Permasalahan (Masalah) :

1. Bagaimana kondisi bahan yang dibutuhkan dalam proses?
2. Bagaimana dengan teknik pembuatannya?

Jawab :

1. Bahan-bahan yang umum dalam proses ini adalah polimer, terutama plastik. Dalam proses ini polimer tersebut dicampur dengan pengisi (filler) dan serat (fiber).
2. Teknik pembuatannya yang dikawatirkan dalam kajian ini yang umum adalah penyempitan (shrink) dan distorsi yang ada.

Permasalahan (Masalah) :

1. Mekanis dibutuhkan untuk hasil dan ketahanan?

Jawab :

Terdapat aspek yang berkaitan dan berkaitan