

# ANALYSIS OF SOUND PRESSURE LEVEL (SPL) AND LAY OUT OF ENGINES IN THE FACTORY

Wijianto

Mechanical Engineering Dept. Muhammadiyah University of Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura Sukoharjo  
E-mail : wijianto@ums.ac.id

## ABSTRACT

*Modeling layout of engines in the factory is very useful to know how many dB sound pressure level that are occur in the building in order to avoid hearing damage of employees that are caused by noise. The objective of this research is to know how many dB sound pressure level that are occur in the factory with engine composition such as boiler, diesel, turbine, motor and gear box with dimension of building are 40 m length, 35 m width and 10 m height. With MATLAB analysis can be obtain that the highest SPL is 104.7 dB and the lowest is 93.5 dB, so, this range are dangerous for human hearing. To avoid hearing damage in this area, employees must use hearing protector.*

**Keywords: dB, noise, sound pressure level, MATLAB**

## INTRODUCTION

Noise is defined as unwanted sound. The vibration of sound pressure waves in the air produces sound. Sound pressure levels are used to measure the intensity of sound and are described in terms of decibels. The decibel (dB) is a logarithmic unit that expresses the ratio of the sound pressure level being measured to a standard reference level. Sound is composed of various frequencies, but the human ear does not respond to all frequencies. Frequencies to which the human ear does not respond must be filtered out when measuring highway noise levels. (Fhwa highway noise barrier design handbook, 2006)

Sound-level meters are usually equipped with weighting circuits that filter out selected frequencies. It has been found that the A-scale on a sound-level meter best approximates the frequency response of the human ear. Sound pressure levels measured on the A-scale of a sound meter are abbreviated dBA. (Guidelines of noise barrier, 2003)

In addition to noise varying in frequency, noise intensity fluctuates with time. The equivalent sound level is the steady-state, A-weighted sound level which contains the same amount of acoustic energy as the actual time-varying, A-weighted sound level over a specified period of time. If the time period is 1 hour, the descriptor is the hourly equivalent sound level, Leq(h). An additional descriptor, which is sometimes used, is the L10. This is simply the A-weighted sound level that is exceeded 10 percent of the time. (Irwin JD, Graf ER 1979)

## THEORITICAL BACKGROUND

Sound Pressure Level ( $L_p$ )

$$\begin{aligned} L_p &= 10 \log_{10} \left[ \frac{P_{ms}^2}{P_{ref}^2} \right] \\ &= 10 \log_{10} \left[ 10^{L_{pi}/10} \right] \text{ dB} \quad \dots\dots\dots [1] \end{aligned}$$

Average of Sound Pressure Level ( $\bar{L}_p$ )

$$\bar{L}_p = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{pi}/10} \right] \text{ dB} \dots\dots\dots[2]$$

Total of Sound Pressure Level ( $L_{p \text{ total}}$ )

$$L_{p \text{ total}} = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^N 10^{L_{pi}/10} \right] \text{ dB} \dots\dots\dots[3]$$

Sound Power Level

$$L_w = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) \dots\dots\dots[4]$$

Pressure in the far field can be expressed as

$$[p^2] = \frac{W \rho c}{4\pi r^2} \dots\dots\dots[5]$$

Sound power can be determined by

$$W = \frac{[p^2] 4\pi r^2}{\rho c} \dots\dots\dots[6]$$

By introducing the reference quantities for sound power and pressure and taking logs, the sound power level can be expressed as

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \log_{10} (4\pi r^2) + \text{smaller terms often neglected} \dots\dots\dots[7]$$

And :

$$W = W_{ref} \times 10^{L_w/10} \dots\dots\dots[8]$$

Where  $W_{ref}$  = is the standard reference sound power =  $10^{-12}$  Watt

If the source is placed on hard reflective ground, the radiation energy is transmitted into a hemisphere instead of a sphere. For this situation, the directivity factor D can be used in equation (7) to account for the fact that the sound pressure will be higher.

The equation providing an estimate of sound power level will thus be given by

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi r^2}{D} \right) \dots\dots\dots[9]$$

Where the directivity factor D for different source locations will be as shown in the table below: (Bies, D.A., Hansen, C.H., 2003)

**Table 1:** Directivity factors for different source locations.

Source Location	Directivity Factor (D)
Free Field (suspended away from surfaces)	1
On a flat plane (hard reflective surface)	2
Junction of 2 planes (hard reflective surfaces)	4
Junction of 3 planes (hard reflective surfaces)	8

Absorption Coefficient ( $\alpha$ )

Average of absorption coefficient  $\bar{\alpha}$

$$\dots\dots\dots(10)$$

$S_i$  : area of the  $i^{\text{th}}$  surface of the room

$\alpha_i$  : absorption coefficient of the  $i^{\text{th}}$  surface

Room constant (R)

The room constant can be expressed as

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \dots\dots\dots(11)$$

The sound pressure level can be determined by

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left( \frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \dots\dots\dots(12)$$

Where D is directivity factor

## ANALYSIS

### A. Calculation of sound Power level total every engine ( $L_w$ total)

According to the equation 3,  $L_w$  total every machine can be summaries in this table bellow

**Table 2:**  $L_w$  total every engine

Octave band (Hz)	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$L_w$ total (dB)
4MW Elec. Motor (dB)	88	90	92	93	93	93	98	88	81	99.07
Gearbox (dB)	95	98	105	105	101	108	100	95	92	109.07
Boiler (dB)	85	95	95	98	98	96	96	92	88	101.58
Steam Turbine (dB)	100	103	104	101	100	100	98	97	93	106.95
Diesel Engine (dB)	100	105	107	106	106	106	105	101	95	111.06

**B. Sketch the Building**

Dimensions of the building are:

- Length : 40 m
- Width : 35 m
- Height : 10 m

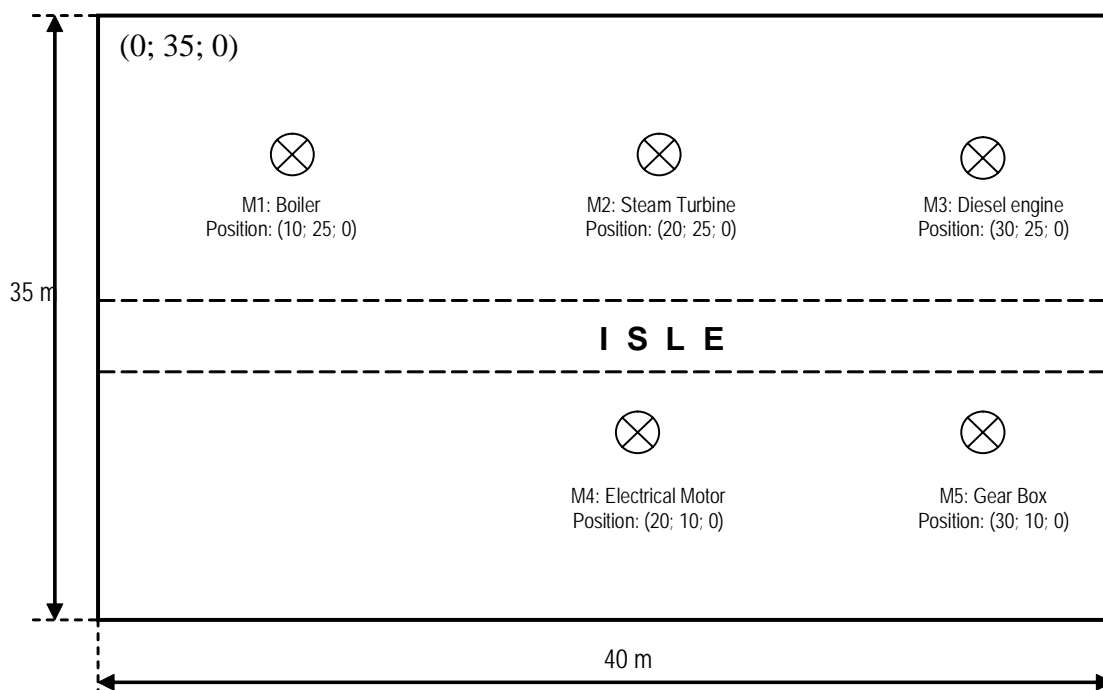
From the data above, calculation about area are:

- Floor area :  $(40 \times 35) \text{ m} = 1400 \text{ m}^2$
- Wall area :  $(2 \times 40 \times 10) + (2 \times 35 \times 10) \text{ m} = 1500 \text{ m}^2$
- Ceiling area :  $(40 \times 35) \text{ m} = 1400 \text{ m}^2$
- Total area :  $(1400 + 1500 + 1400) \text{ m}^2 = 4300 \text{ m}^2$

Considering the values of sound pressure level every engine, position of every engine can be placed in the building.

The highest sound pressure level (diesel engine) is placed far from central axis (0,0,0) because to reduce more noise, follow by gear box position, steam turbine, boiler and electrical motor closer with central axis.

The sketch of the building is described in the figure below:



**Figure 1:** Sketch of The Building

### C. Different acoustic treatment for floor, wall and ceiling (Irwin JD, Graf ER 1979)

**Table.3.** Sabine absorption coefficients for chosen material

Surface	Material	Octave Band Centre Frequency (Hz)								
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Floor	Concrete or Terrazzo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Wall	Brick, unglazed, painted	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
ceiling	Mineral fiber	0.18	0.18	0.18	0.45	0.84	0.97	0.87	0.87	0.87

### D. Calculation of absorption coefficient ( $\alpha$ ) and Room constant (R)

According to the equation 10 and 11 above to find values  $\alpha$  and R, every frequency octave band can be summaries in this table below:

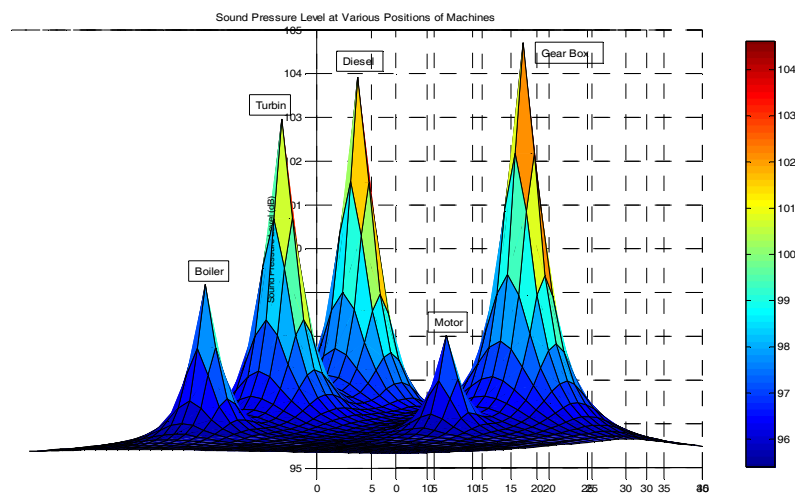
**Table.4.** Sabine absorption coefficients for chosen material

surface	Material	Area (m <sup>2</sup> )	Octave Band Centre Frequency (Hz)								
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Floor	Concrete or Terrazzo	1400	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Wall	Brick, unglazed, painted	1500	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
ceiling	Mineral fiber	1400	0.18	0.18	0.18	0.45	0.84	0.97	0.87	0.87	0.87
<b>Total area</b>		<b>4300</b>									
<b>absorption coefficient</b>		$\bar{\alpha}$	<b>0.332</b>	<b>0.332</b>	<b>0.332</b>	<b>0.332</b>	<b>0.336</b>	<b>0.339</b>	<b>0.339</b>	<b>0.339</b>	<b>0.343</b>
<b>Room constant</b>		<b>R</b>	<b>2140.7</b>	<b>2140.7</b>	<b>2140.7</b>	<b>2141.3</b>	<b>2176.0</b>	<b>2208.2</b>	<b>2208.0</b>	<b>2208.0</b>	<b>2242.5</b>

### E. Calculation of sound pressure level in the building

To obtain the values of sound pressure level in the building, according equation 12 above, computer program is used to determine values sound pressure level every location in the building.

With MATLAB program, sound pressure level every machine in any positions can be presented in this graph below:



**Figure 2:** sound pressure level of machines in various positions with SPL total

## DISCUSSION

### A. General Summaries

Table 2 shown that the highest sound power level total every machine occur in the diesel engine (111.06 dB), followed by gear box (109.07 dB), steam turbine (106.95 dB), boiler (101.58) and the lowest is 4MW electric motor (99.07 dB).

From the analysis above, that are can used to design layout of every machine in the room building, for example the engine with the highest sound power level we are placed most far from central axis (0; 0; 0) and the engine with the lowest sound power level is placed nearest with central axis in order to reduce more noise from this area that are close with central axis because for example this area can be used to office of head department or office of operators.

### B. Sound Pressure Level Total in the building

Using MATLAB computer program to analysis sound pressure level total the building,

the highest sound pressure level total (104.7 dB) occur in position length 31 m and width 11 m, which this position where the gear box is placed.

The lowest sound pressure level total in this building is around area that is close with central axis, that the sound pressure level approximately 95.34 dB.

Moreover, sound pressure level in the isle area is about 95.37 dB (near the axis area) to 97.12 dB (close with diesel engine position).

## CONCLUSION

According to this analysis above, as can be seen in figure 2, with the dimension of building (40 m length, 35 m width and 10 m height), the sound pressure level total that are occur in the building when all machine is operated, in the range 95.52 dB to 104.7 dB.

The sound pressure level totals that occur in the room of building are influences from:

- Dimension of room building
- Sound pressure level that are produce by machine in that building

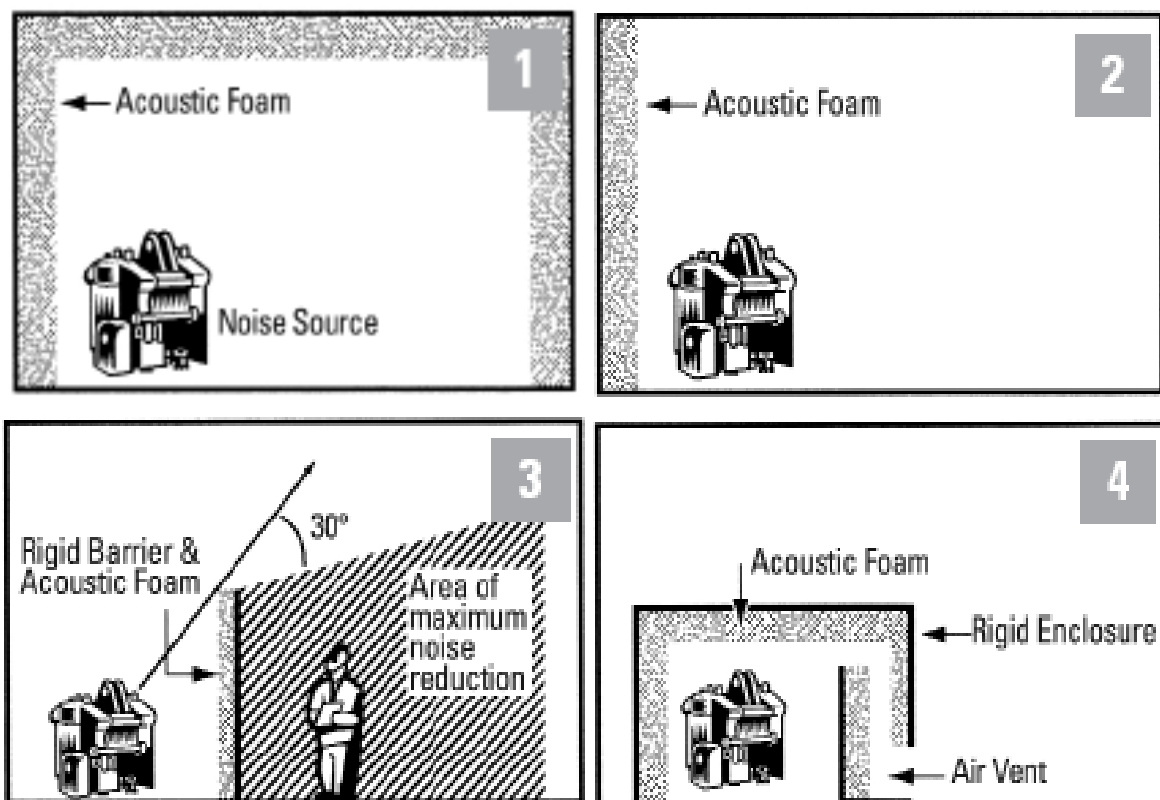


Figure 3: 4 ways to quiet a noise area

**Table 5:** Types of Approved Hearing Protection.

- Number of machine
- Position of every machine
- Material to build this building

To quite a noise area in the building, design of building is very important, for example can be illustrated in figure 3 below:

As can be seen in the table 5, that the

between 95.52 to 104.7 dB, give information that the noise exposure at the room exceeds the exposure standard. While the exposure standard is defined as the 8 hour equivalent continuous sound pressure level of 85 dB (A) measured in A-weighted decibels referenced to 20 micro Pascals at an employee's ear position. So, to protect operator from hearing damage, hearing protector must be used. (Sharma O, Mohanan Singh M 1979)

Grade	Leq (8 hr) dBA	Types
1	86 - 91	Earmuffs or Earplugs
2	92 - 97	Earmuffs or Earplugs
3	98 - 103	Earmuffs
4	104 - 109	Earmuffs
5	110 - 115	Earmuffs

**REFERENCES**

Bies, D.A., Hansen, C.H., 2003, *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, 3rd ed., E & FN Spon, New York, USA

Howard I, *Engineering Noise Control: lecture note*, Department of Mechanical Engineering Curtin University of Technology

Irwin JD, Graf ER 1979, *Industrial Noise and Vibration Control*, Prentice Hall Inc, New Jersey.

NN, 2003, *Guidelines of noise barrier*; Barriers Environmental Protection Department Highways Department Government of the Hong Kong, Hong Kong.

NN,2006, "Fhwa highway noise barrier design handbook", retrieved 30 september 2006, <http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/3.htm>

NN,2006, *Industrial noise control that works: sound solutions for a noisy world* retrieved from [www.illbruck-sonex.com](http://www.illbruck-sonex.com)

Sharma O, Mohanan V and Singh M 1979, *Noise Emission Levels in Coal Industry*, *Journal of Applied Acoustic* vol. 54 pp. 1-7.

# Total Incremental Method for Solving Nonlinear System of Equation Due to Plasticity of Reissner Plates with Boundary Element Method

Supriyono

Departement of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering,  
Muhammadiyah University of Surakarta.

Email: supriyono@ums.ac.id

## ABSTRACT

*In this paper a total incremental method for solving nonlinear system equation due to plasticity of shear deformable plates is presented. The material is assumed to undergo small strains. The von Mises criterion is used to evaluate the plastic zone and elastic perfectly plastic material behaviour is assumed. An initial stress formulation is used to formulate the boundary integral equations. The domain integral due to material nonlinearity is evaluated using a cell discretization technique. Several examples are presented and comparisons are made to demonstrate the validity and the accuracy of the total incremental method to solve the nonlinear system of equation due to plasticity.*

**Key words : Reissner plates-nonlinear system of equation-total increment method- plasticity-boundary element method.**

## Introduction

Nonlinear analysis of plate bending can be divided into two categories e.i. geometrical and material nonlinearity. Geometrical nonlinearity in plate bending usually is called as large deflection.

There are two widely used plate theories. The first one was developed by Kirchhof (1850)] and is commonly referred to as the classical theory. The other was developed by Reissner (1950)], and is known as the shear deformable theory. The classical plate theory neglects the shear deformation through the plate thickness whereas the shear deformable theory takes into account the shear deformation and the transverse normal stresses through the plate thickness. The Reissner theory is based on modelling the plate structure as two-dimensional structure with assumed stress variation through the plate thickness. In Reissner plates, the problem is represented in terms of three degrees of freedom,

involving generalized displacements (i.e. two rotations and deflection) and generalized tractions (i.e. moments and transverse shear force).

Nonlinear analysis of plate bending with boundary element method (BEM) can be found in the works by Tanaka (1984), Kamiya and Sawaki (1982), Lei, Huang and Wang (1990), Karam and Telles (1998), Ribeiro and Venturini (1998), Wen, Aliabadi and Young (2004), Dirgantara and Aliabadi (2006), and Purbolaksono and Aliabadi (2005) and Supriyono and Aliabadi (2006).

The works by by Tanaka, Kamiya and Sawaki and Lei, Huang and Wang dealt with large deflection using classical plate theory. Whereas the works by Wen, Aliabadi and Young, Dirgantara and Aliabadi and Purbolaksono and Aliabadi were for large deflection analysis using Reissner plates theory. The BEM analysis of Reissner plates with material nonlinearity can be found in the works by



Karam and Telles and Ribeiro and Venturini. Supriyono and Aliabadi developed the application of the BEM for Reissner plates by considering combined large deflection and plasticity.

An incremental together with an iterative procedure is usually applied in dealing with nonlinear system of equation. However, Wen, Aliabadi and Young (2004) proposed the total incremental method to solve the nonlinear system of equation due to large deflection in which the iterative process is neglected. Nevertheless, the size of the increment should be small and depends on the problems being analyzed.

Purbolaksono and Aliabadi (2005) studied four methods of solution for the nonlinear problem due to large deflection which included total incremental method, cumulative load incremental method, Euler method and nonlinear system method. They found the most efficient approach is the total incremental method proposed by Wen, Aliabadi and Young (2004) which has much simpler algorithm and less computer time compared to the incremental and iterative method.

The success application of the total incremental method in large deflection analysis suggests that an extension of the method into plasticity analysis may also be effective. This paper presents the application of the total incremental method to solve the nonlinear system of equation due to plasticity in BEM. The BEM formulation in this work follows closely the work by Karam and Telles (1998). An initial stress formulation was used and von Mises yield criterion is applied to evaluate plastic zone. The formulation allows for small strain. Elastic perfectly plastic material is considered and cell discretization approach was applied to evaluate the domain integral. However, in this work higher order cell, which is 9-nodes quadrilateral cell, is considered instead of triangular constant cell. Throughout this paper, the cartesian tensor notation is used, with Greek indices varying from 1 to 2 and the Latin indices varying from 1 to 3.

## Displacement and Stress Integral Equations

Applications BEM in solid mechanics are based on the Somigliana's identities. Somigliana's

identity for displacements in elastoplastics shear deformable plate bending problems states that the rate of the displacements (two rotations and one deflection) at any points  $X'$  [ $\dot{w}_i(X')$ ] that belong to domain  $(X'^a V)$  to the boundary values of displacement rates [ $\dot{w}_j(x)$ ] and traction rates [ $\dot{p}_j(x)$ ] can be expressed as (Karam, 1998):

$$\begin{aligned} \dot{w}_i(X') = & \int_S W_{ij}(X', x) \dot{p}_j(x) dS - \int_S P_{ij}(X', x) \dot{w}_j(x) dS + \\ & \int_V W_{i3}(X', X) \dot{q}_3(X) dV + \\ & \int_V \chi_{\alpha\beta i}(X', X) \dot{M}_{\alpha\beta}^{pl}(X) dV \end{aligned} \quad [1]$$

where,  $W_{ij}(X', x)$ ,  $P_{ij}(X', x)$  and  $\dot{w}_{ij}(X', X)$  are called fundamental solutions representing a displacement, a traction and strain in the  $j$  direction at point  $X$  due to a unit point force in the  $i$  direction at point  $X'$ . These fundamental solutions can be found in Karam (1998).  $\dot{q}(X)$ ,  $\dot{M}_{\alpha\beta}^{pl}(X)$  are the load rates and the plastic rate terms due to the loading, respectively.

Equation (1) is valid for any source points within domain  $(X'^a V)$ , in order to find solutions on the boundary points, it is necessary to consider the limiting process as  $X'' \rightarrow x'^a S$ . After limiting process, boundary displacement integral equations can be expressed as

$$\begin{aligned} C_{ij}(x') (\dot{w}_i(x')) = & \int_S W_{ij}(x', x) \dot{p}_j(x) dS - \int_S P_{ij}(x', x) \dot{w}_j(x) dS + \\ & \int_V W_{i3}(x', X) \dot{q}_3(X) dV + \\ & \int_V \chi_{\alpha\beta i}(x', X) \dot{M}_{\alpha\beta}^{pl}(X) dV \end{aligned} \quad [2]$$

where,  $C_{ij}(x')$  is free term that is  $C_{ij}(x') = \dot{a}_{ij}(x') + \dot{a}_{ij}(x')$ , for smooth boundary the free term is 0.5.

The Somigliana's identity for stresses can be expressed respectively as

$$\begin{aligned} \dot{M}_{\alpha\beta}(X') = & \int_S W_{\alpha\beta k}(X', x) \dot{p}_k(x) dS - \int_S P_{\alpha\beta k}(X', x) \dot{w}_k(x) dS \\ & + \int_V W_{\alpha\beta k}(X', X) \dot{q}_3(X) dV \\ & + \int_V \chi_{\alpha\beta\gamma\theta}(X', X) \dot{M}_{\gamma\theta}^{pl}(X) dV \\ & - \frac{1}{8} [2(1 + \nu) M_{\alpha\beta} (1 - 3\nu) \dot{M}_{\theta\theta}^{pl} \delta_{\alpha\beta}] \end{aligned} \quad [3]$$

$$\begin{aligned}
Q_{\beta}(X') = & \int_S W_{\alpha\beta k}(X', x) p_k(x) dS - \int_S P_{\alpha\beta k}(X', x) w_k(x) dS \\
& + \int_V W_{3\beta k}(X', V) q_3(X) dV \\
& + \int_V \chi_{3\beta\theta}(X', X) \dot{M}_{\gamma\theta}^{pl}(X) dV \quad [4]
\end{aligned}$$

where,  $M_{\dot{a}\dot{a}}$  and  $Q_{\dot{a}}$  are moment and shear stresses respectively.  $W_{\dot{a}\dot{a}k}(X', x)$ ,  $P_{\dot{a}\dot{a}k}(X', x)$  and  $\dot{\chi}_{\dot{a}\dot{a}k}(X', X)$  are called fundamental solutions and can be found in Karam (1998).

### Discretization and System of Equation

In order to solve equation (1), (2), (3) and (4), a numerical method is implemented. The boundary  $S$  is discretized using quadratic isoparametric elements. The domain  $V$  is divided into number of cells of 9 nodes quadrilateral cell.

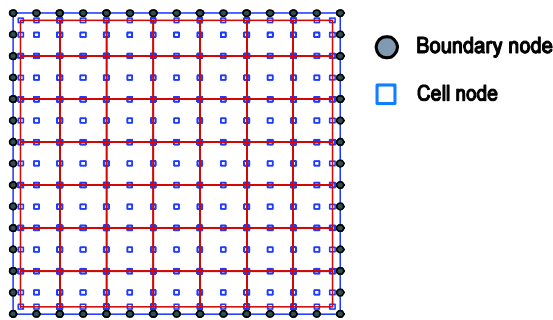


Figure 1. Discretization

In this formulation, boundary parameter  $x_j$ , the unknown boundary values of displacements  $w_j$  and tractions  $p_j$  are approximated using interpolation function, in following manner:

$$\begin{aligned}
x_j &= \sum_{\alpha=1}^3 N_{\alpha}(\xi) x_j^{\alpha} \\
\dot{w}_j &= \sum_{\alpha=1}^3 N_{\alpha}(\xi) \dot{w}_j^{\alpha} \\
\dot{p}_j &= \sum_{\alpha=1}^3 N_{\alpha}(\xi) \dot{p}_j^{\alpha} \quad [5]
\end{aligned}$$

The shape functions  $N_{\dot{a}}$  are defined as

$$\begin{aligned}
N_1 &= \frac{1}{2} \xi (\xi - 1) \\
N_2 &= (1 - \xi)(1 + \xi) \\
N_3 &= \frac{1}{2} \xi (\xi + 1) \quad [6]
\end{aligned}$$

Substituting equation (5) and equation (6) into equation (2), one gets (the integrations on the boundary  $S$ ):

$$\begin{aligned}
\int_S P_{ij}(x', x) w_j(x) dS &= \sum_{n=1}^{Ne} \sum_{\alpha=1}^3 W_j^{\alpha} \int_{-1}^1 P_{ij}(x', x(\xi)) N_{\alpha}(\xi) J^n(\xi) d\xi \\
\int_S W_{ij}(x', x) p_j(x) dS &= \sum_{n=1}^{Ne} \sum_{\alpha=1}^3 P_j^{\alpha} \int_{-1}^1 W_{ij}(x', x(\xi)) N_{\alpha}(\xi) J^n(\xi) d\xi \quad [7]
\end{aligned}$$

where,  $Ne$  is the number of elements on the boundaries  $S$  and  $J^n$  is the Jacobian transformations.

After discretization process the integration on the domain  $V$  can be stated as:

$$\begin{aligned}
\int_V W_{i3}(x', X) q_3(X) dV &= \sum_{n=1}^{Ne} \sum_{\alpha=1}^3 q_3 \int_{-1}^1 W_{i3}(x', X(\xi, \eta)) \\
& N_{\alpha}(\xi, \eta) J^n(\xi, \eta) d\xi d\eta \\
\int_V \chi_{\alpha\beta i}(x', X) \dot{M}_{\alpha\beta}^{pl}(X) dV &= \sum_{n=1}^{Ne} \sum_{\alpha=1}^9 (\dot{M}_{\alpha\beta}^{pl})_{\alpha}(X) \times \\
\int_{-1}^1 \chi_{\alpha\beta i}(x', X(\xi, \eta)) N_{\alpha}(\xi, \eta) J^n(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad [8]
\end{aligned}$$

After discretization and point collocation passes through all the collocation node on the boundary as well as in the domain, the equations (2) can be written in the matrix form as

$$[H] \{\dot{w}\} = [G] \{\dot{p}\} + \{\dot{b}\} + [T] \{\dot{M}^{pl}\} \quad [9]$$

where  $[H]$  and  $[G]$  are the well-known boundary element influence matrices,  $[T]$  is the influence matrix due to plasticity.  $\{w\}$ ,  $\{p\}$ , are the displacement and the traction rate vectors on the boundary.  $\{b\}$  is the load rate vectors on the domain and  $\{M^{pl}\}$  is the nonlinear term due to plasticity.

After imposing boundary condition, equations (9) can be written as

$$[A] \{\dot{x}\} = \{f\} + [T] \{\dot{M}^{pl}\} \quad [10]$$

where,  $[A]$  is the system matrix,  $\{x\}$  is the unknown vector and  $\{f\}$  is the vector of prescribed boundary values.

Analogously, the stress integral equations of equations (3) and (4) can be presented in matrix form as

$$\begin{bmatrix} \dot{M} \\ \dot{Q} \end{bmatrix} = [G] \{\dot{p}\} - [H] \{\dot{w}\} + \{\dot{b}\} + [T] \{\dot{M}^{pl}\} \quad \dots [11]$$

### Solution Algorithm

The total incremental method solves the nonlinear system of equations of equation (10) based on the incremental load to be applied on the structure. It has an algorithm as:

1. Solve the equation (10), assume that the nonlinear term  $M^{pl}=0$  for the first load increment. It means that the linear system equations are solved. For the  $(k+1)$ th load increment it is assumed that  $(M^{pl})_{(k+1)th}=(M^{pl})_{kth}$
2. Solve equation (11) based on the boundary values obtained from number 1. The same case as number 1 is implemented for the nonlinear term.
3. Evaluate of the plastic zone based on the stress obtained from the number 2. In this stage the von Mises criterion is used.
4. If the plasticity has taken place then, obtain the nonlinear term otherwise go to the number 5. The clear explanation of the determination of the plastics term can be found in the work by Karam (1998).
5. If the load is less than the final load then go to number 1 and repeat until the load is equal final load

### Numerical Example

In order to show how the total incremental method has a good agreement to the incremental and iterative method in solving the nonlinear system of equation due to plasticity, some examples are presented.

#### Simply supported circular plate

A simply supported circular plate of radius  $a=10.0$  inc and thickness  $h=1$  inc, is subjected to a uniformly distributed load  $q$  (see Fig.2). It is assumed that the plate is elastic perfectly plastic material with  $E=10^4$  ksi,  $\sigma_y=16$  ksi and  $i=0.24$ . Due to symetry conditions, only a quarter of the plate is discretized. Two different BEM meshes are used. The first mesh A has 12 boundary elements and the second mesh B has 18 boundary elements. In order to simulate the plasticity effects, the domain is also meshed into 12 cells of 9-nodes quadrilateral for the first mesh A and 24 cells for the second mesh B. The load

increment of  $\Delta q=0.00268$  and  $\Delta q=0.00134$  are implemented. These load increments are the same as 100 and 200 steps respectively to reach the final load.

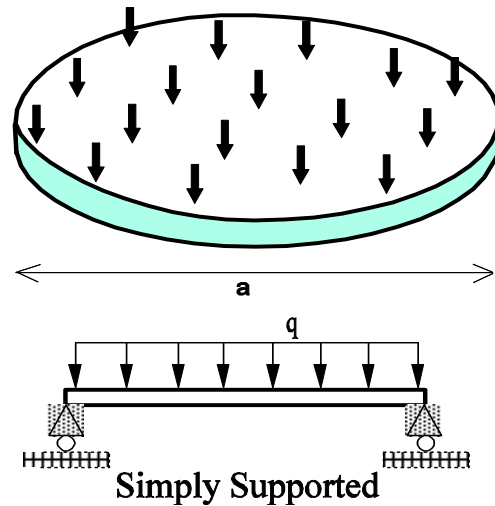


Figure 2. simply supported circular plate

The results are presented in Figures 3 and 4. The abscise and ordinate of the graphs are presented in non-dimensional parameter as

$$Q = \frac{\Delta q a^2}{M_0} \quad \text{and} \quad W = \frac{w D}{M_0 a^2}$$

where  $M_0 = \sigma_y h^2/4$ ,  $w$  is the deflection on center plate and  $D = E h^3/12(1-\nu^2)$

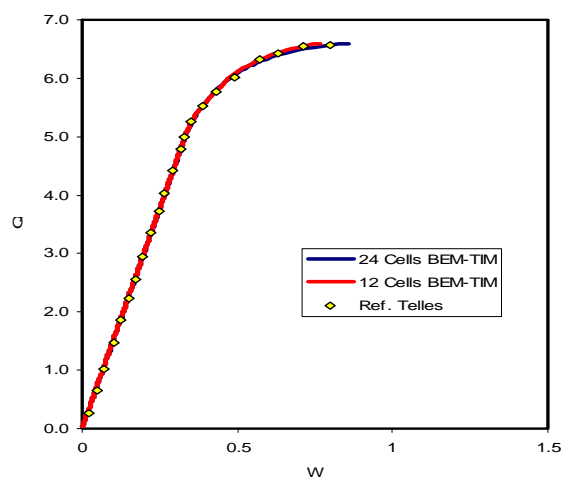
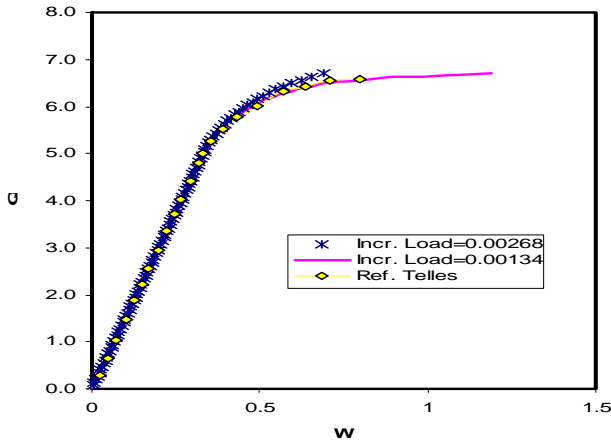
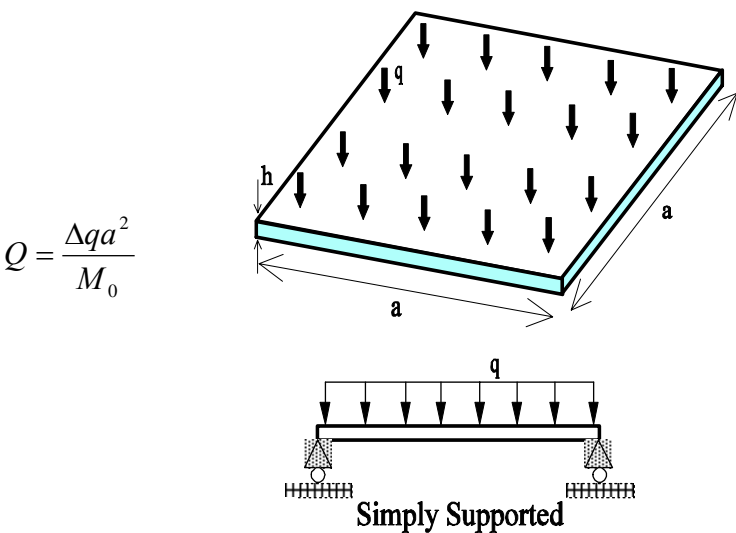


Figure 3. Circular plate. Load-deflection curve  $\Delta q=0.00134$ .



**Figure 4. Load-deflection curve for  $\Delta q=0.00268$  and  $\Delta q=0.00134$  of mesh B**

**Simply supported square plate**



**Figure 5. simply supported square plate**

A simply supported square plate having side  $a=1$  and thickness  $h=0.01$ , is subjected to a uniformly distributed load  $q$ . As in the circular plate, it is assumed that the plate undergoes elastic perfectly plastic material with  $E=10.92$  ksi,  $\sigma_y=1600$  ksi and  $\nu=0.3$ . Also only a quarter of the plate is discretized due to symmetry conditions. Two different BEM meshes are used. The first mesh A has 16 boundary elements and

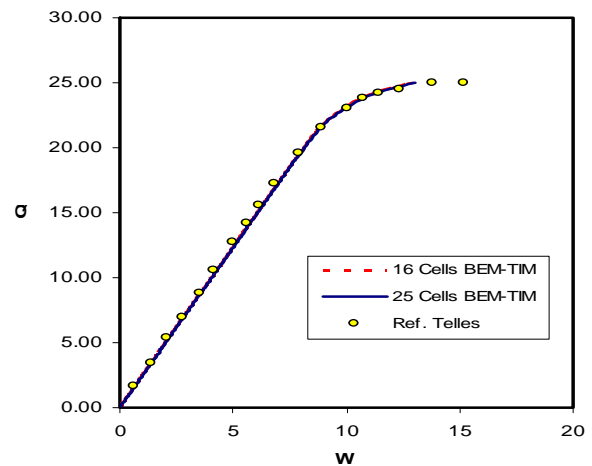
the second mesh B has 20 boundary elements. In order to simulate the plasticity effects, the domain is also meshed into 16 cells of 9-nodes quadrilateral for the first mesh A and 25 cells for the second mesh B. The load increment of  $\Delta q=0.005$  is implemented and the same as 200 steps to reach the final load.

The results are presented in figures 4 and the non-dimensional parameters are

$$\text{and } W = \frac{10^2 w D}{M_0 a^2}$$

where  $M_0 = \sigma_y h^2 / 4$ ,  $w$  is the deflection on center plate and  $D = Eh^3 / 12(1 - \nu^2)$

The curves of the both meshes A and B are in a good agreement with the work done by Telles (1998).



**Figure 6. Square plate. Load-deflection curve  $\Delta q=0.005$ .**

**CONCLUSION**

The application of BEM to material nonlinearity for shear deformable plate bending analysis was presented and the total incremental method was implemented to solve the nonlinear system of equation, from the results obtained it can be concluded that:

1. The total incremental method was shown to be an efficient approach for this problem as

repeated solution of system of equations is not required and the nonlinear terms are updated by back substitution.

2. The size of load increment shows big

influence on the results. The smaller the size the better results can be obtained, however 200 steps to reach the final load is a reasonable size to get a good results.

## REFERENCES

- Aliabadi, M.H., Plate Bending Analysis with Boundary Element, Computational Mechanics Publications, Southampton (1998).
- Dirgantara, T. and Aliabadi, M.H., Boundary element formulation for geometrically non-linear analysis of shear deformable shells, Submitted for publication (2006)
- Kamiya, N. and Sawaki, Y., An integral equation approach to finite deflection of elastic plates, Int. J. Non-Linear Mech., 17(3), 187-194 (1982)
- Karam, V.J. and Telles, J.C.F., On boundary elements for Reissner's plate theory, Engineering Analysis, 5, 21-27 (1988)
- Karam, V.J. and Telles, J.C.F., Nonlinear material analysis of Reissner's plates, Plate Bending Analysis with Boundary Element, 127-163, Computational Mechanics Publications, Southampton (1998).
- Kirchhoff, G., Uber das gleichgewicht und die bewegung einer elastischen scheinbe, J.Rein Angew Math., 40, 51-88 (1850)
- Lei, X.Y., Huang, M.K. and Wang, X.X., Geometrically nonlinear analysis of a Reissner's type plate by boundary element method, Comput. Struct., 37(6), 911-916 (1990)
- Naghdi, P.M., On the theory of thin elastic shells, Quarterly of Applied Mathematics, 14, 369-380, 1956.
- Purbolaksono, J. and Aliabadi, M.H., Large deformation of shear deformable plate by boundary element method, J. of Engineering Mathematics, (2005)
- Reissner, E., On a variational theorem in elasticity, Journal of Mathematics and Physics, 29, 90-95, (1950).
- Ribeiro, G.O. and Venturini, W.S., Elastoplastic analysis of Reissner's plate using the boundary element method, Plate Bending Analysis with Boundary Element, 101-125, Computational Mechanics Publications, Southampton (1998).
- Supriyono, Aliabadi, M.H., Boundary Element Method for Shear Deformable Plates with Combined Geometric and Material Nonlinearities, Engineering Analysis with Boundary Elements, 30, 31-42 (2006).

Tanaka, M., Large deflection analysis of thin elastic plates, *Developments in Boundary Element Methods*, Elsevier Applied Science Publishers, 13, 115-136 (1984)

Wen, P.H., Aliabadi, M.H., Young, A., Large deflection analysis of Reissner plate by boundary element method, *Computer & Structure*, (2004)

# PENGARUH SPASI NOSEL TERHADAP UNJUK KERJA EJEKTOR POMPA JET

Nurmuntaha Agung Nugraha, Marwan Effendy, Ade Faris Robbany

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

## ABSTRAK

*Masalah yang sering muncul bagi daerah yang sumurnya dalam adalah cara mengangkat air dari sumur. Pada sisi lain kinerja pompa dibatasi oleh tinggi tekan (head) untuk daya tertentu. Dari permasalahan ini akhirnya dikembangkan pompa jet atau sering dikenal “jet pump”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik ejektor jet pump dengan melakukan variasi terhadap spasi nosel untuk memperoleh nilai spasi nosel yang optimal dari kinerja ejektor.*

*Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem instalasi perpipaan yang dihubungkan dengan ejektor yang dirancang sesuai dengan cara kerja pompa jet, untuk fluida kerja yang digunakan adalah air. Spasi nosel yang divariasikan masing – masing 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 mm. Data yang didapat merupakan hasil dari pengukuran debit aliran keluar ejektor ( $Q_3$ ) dan tekanan pada aliran primer masuk ejektor ( $P_1$ ), tekanan sekunder ( $P_2$ ), dan tekanan keluar ejektor ( $P_3$ ), dan kemudian digunakan untuk menghitung kinerja dari ejektor.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa spasi nosel yang menghasilkan efisiensi yang optimal adalah antara 5 – 10 mm, sedangkan penurunan efisiensi terjadi seiring dengan bertambahnya nilai spasi nosel.*

**Kata-kata kunci: pompa jet, ejektor, spasi nosel, efisiensi**

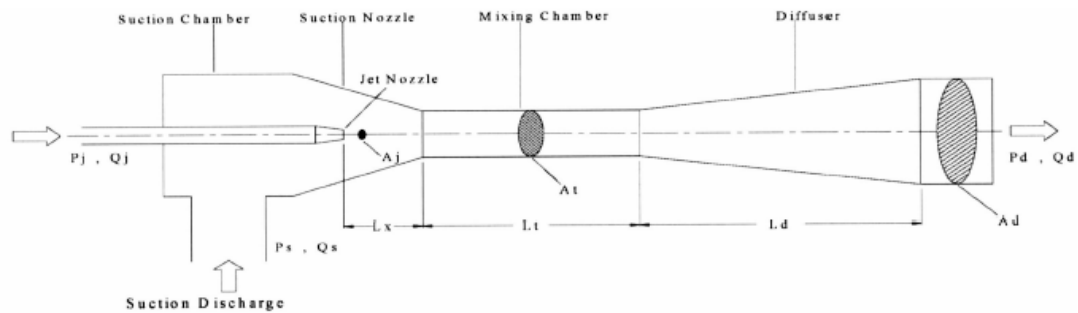
## PENDAHULUAN

Dalam kehidupan, air memegang peranan yang sangat penting. Air selain untuk keperluan minum, mandi juga dimanfaatkan untuk irigasi. Bagi daerah yang belum terjangkau jaringan PDAM, air diperoleh dengan cara menimba atau memompa air dengan membuat sumur. Lubang sumur terkadang dapat mencapai kedalaman lebih dari 10 meter untuk mendapatkan sumber air yang mencukupi, lebih – lebih saat musim kemarau di mana sumber mata air dari sumur mengalami penurunan atau air menjadi dalam bila dibandingkan dengan musim penghujan. Problem yang muncul bagi lokasi yang sumurnya dalam adalah cara mengangkat air dari sumur. Kinerja

pompa dibatasi oleh head untuk daya tertentu. Dari kasus ini akhirnya dikembangkan pompa jet atau sering dikenal “jet pump”.

Pompa jet adalah pompa yang mempunyai prinsip kerja dimana sebagian debit pompa yang keluar dikembalikan ke saluran isap. Konstruksi seperti ini dibuat untuk mengangkat fluida pada saluran isap dengan mempergunakan ejektor, sehingga head isap meningkat. Pada pompa jet terdapat empat bagian utama yang mempengaruhi unjuk kerja ejektor yakni: nosel, spasi nosel, *throat*, dan difuser.

Pompa jet merupakan suatu pompa non positif *displacement* dengan efek khusus yang dapat digunakan untuk memindahkan suatu fluida



Gambar 1. Bagian Ejektor

dengan memanfaatkan kevakuman nosel, kevakuman tersebut dapat dicapai karena adanya fluida penggerak yang mengalir pada nosel.

Dengan menggunakan pompa jet, pemindahan fluida tidak hanya dalam satu fase saja, tetapi mampu memindahkan fluida dalam dua fase dengan memanfaatkan kevakuman yang terjadi. Kevakuman itu sendiri dapat terjadi karena adanya *motive fluid* yang melewati *vacuum chamber*. Namun demikian inovasi maupun penelitian tetap harus dilakukan terus-menerus mengingat efisiensi pompa ini masih relatif kecil.

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang karakteristik dari pompa jet maka akan dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi spasi nosel terhadap kinerja pompa jet. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan spasi nosel dengan nilai 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 mm.

## TINJAUAN PUSTAKA

Aspek penting yang mempengaruhi efisiensi *jet pump* yaitu rasio luas penampang nosel dan throat (R), angka Reynolds, spasi nosel, rasio panjang dan diameter throat (Stepanoff, 1957).

Irsyad (2002), yang meneliti penggunaan nosel bersudut  $15^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$ . Ejektor yang digunakan memiliki saluran pengarah dengan rasio ( $L/d_n$ ) 0, 1.67, 2.33 dan rasio spasi nosel ( $S/d_n$ ) masing – masing 0.83, 1.67, 2.5, 3.33 dan 4.17. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja ejektor terbaik pada rasio panjang saluran pengarah 1.67, sedangkan rasio spasi nosel akan optimal pada rasio 0.83 ~ 1.67.

Winoto (2000), optimisasi tentang efisiensi *jet pump* dilakukan dengan penelitian yang memvariasikan rasio luas penampang nosel dan throat (R) serta bentuk penampang nosel (lingkaran, bujur sangkar, dan segi tiga). Hasil yang didapatkan adalah efisiensi terbesar yang didapatkan adalah  $R = 0.3$  untuk bentuk penampang lingkaran.

Aji (2003), dalam penelitiannya, menguji tiga buah nosel yang berbeda dan dari eksperimen itu dihasilkan suatu kondisi yang maksimal di mana tercapai efisiensi tertinggi (10,72 %) yaitu pada penggunaan nosel dengan diameter 0.013 – 0.004 m dan panjang nosel 0.04 m.

Indarto (2004), dalam penelitiannya menggunakan pompa dengan debit 16.8 L/min dengan menitikberatkan variasi nosel 4 mm, 6 mm, 8 mm dengan menggunakan variasi debit *motive fluid* yang berbeda pula. Hasil dari eksperimen yang dilakukan terjadi banyak variasi tekanan *suction* di mana tekanan *suction* maksimal sebesar 102605,45 Pa didapat dengan menggunakan diameter ujung nosel 0.008 m pada *bypass motive fluid* sebesar 30 %.

Kurniawan (2004), percobaan dilakukan menggunakan debit pompa 16,8 L/min dengan menitikberatkan pada variasi *bypass motive fluid* sebesar 30%, 50% dan 60% dan menggunakan variasi diameter nosel yang berbeda pula, dengan adanya nosel didapatkan peningkatan tekanan isap jika dibandingkan tanpa menggunakan nosel. Dari eksperimen yang dilakukan diperoleh banyak variasi tekanan *suction* dimana tekanan *suction* maksimal sebesar 102605, 45 Pa didapat dengan menggunakan diameter ujung nosel 0,008 m pada *bypass motive fluid* sebesar 30%.



## DASAR TEORI

### Prinsip Kerja Pompa Jet

Pada ejektor, fluida dialirkan melalui nosel dimana arus mengecil karena perubahan penampang nosel, difuser yang membesar secara perlahan ditempatkan didekat mulut nosel dalam ruang isap, karena kecepatan arus yang meninggalkan mulut nosel bertambah besar maka tekanan dalam arus akan turun, demikian pula didalam ruang isap. Pada difuser kecepatan berkurang sehingga tekanan naik kira-kira mendekati tekanan atmosfer (apabila fluida dibuang menuju atmosfer). Akibat kejadian tersebut maka tekanan dalam ruang isap juga menurun dibawah tekanan atmosfer, istilahnya terbentuk sedikit vakum yang menyebabkan zat cair dari bejana bawah tersedot naik kedalam ruang isap dan terjebak oleh arus fluida yang menyemprot dari mulut nosel.

### Karakteristik Pompa Jet

Untuk mengetahui karakteristik dari pompa jet dapat ditentukan dengan persamaan-persamaan dibawah ini :

Nilai *head ratio* (M)

$$M = \frac{Q_2}{Q_1} \dots\dots\dots (1)$$

Nilai *capacity Ratio* (N)

$$N = \frac{P_3 - P_2}{P_1 - P_3} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai efisiensi pompa jet ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \left( \frac{P_3 - P_2}{P_1 - P_3} \right) = M \cdot N \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- $Q_1$  : Debit aliran primer ( $m^3/s$ )
- $Q_2$  : Debit aliran sekunder ( $m^3/s$ )
- $P_1$  : Tekanan aliran primer (kPa)
- $P_2$  : Tekanan aliran sekunder (kPa)
- $P_3$  : Tekanan aliran keluar ejektor (kPa)

## METODE PENELITIAN

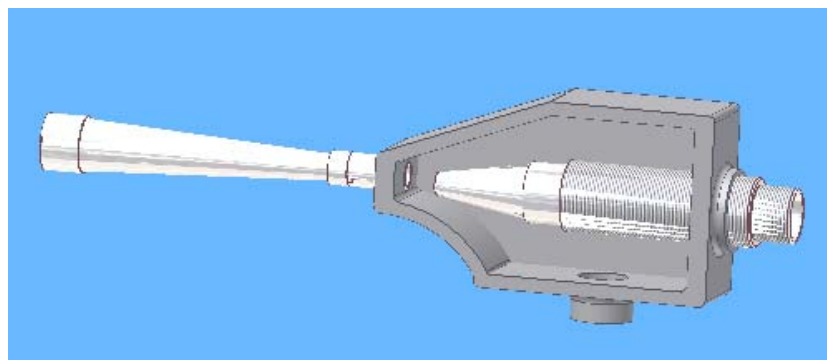
### Rancangan penelitian

Dalam pemilihan pompa dengan berbagai macam jenis fluida kerja, efisiensi merupakan pertimbangan tersendiri dalam pemilihan. Khususnya pompa jet untuk meningkatkan efisiensinya maka dilakukan dengan memvariasikan spasi nosel. Untuk membuktikan bahwa spasi nosel dapat mempengaruhi efisiensi maka dibuatlah ejektor yang dapat diubah – ubah nilai spasi noselnya dengan menganut prinsip kerja dari pompa jet. Adapun untuk meningkatkan efisiensi dalam penelitian ini akan divariasikan spasi nosel pada jarak 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 mm dengan mengabaikan komponen ejektor yang lain.

### Bahan dan Alat

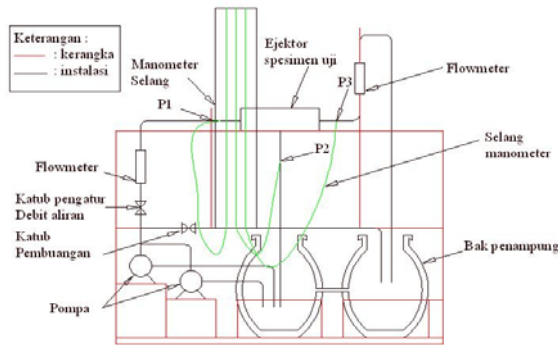
#### Spesimen uji

Komponen dari ejektor yang terdiri *vacuum chamber*, *throat*, nosel, dan difuser,



**Gambar 2.** komponen spesimen uji dan penunjukan spasi nosel

sebagian besar di kerjakan dengan proses permesinan, tetapi pada komponen tertentu seperti nosel dengan penampang persegi dikerjakan dengan proses pengecoran. Sedangkan bahan yang digunakan untuk ejektor adalah aluminium.



**Gambar 2. komponen spesimen uji dan penunjukan spasi nosel**

### Instalasi Penelitian

Instalasi yang di gunakan dalam penelitian ini adalah instalasi sistem perpipaan yang di hubungkan dengan spesimen uji atau ejektor. Jenis fluida yang di pilih adalah air dengan suhu antara 26 – 36,5°C yang dialirkan kedalam instalasi dengan menggunakan pompa. Adapun model dari instalasi yang di gunakan dalam penelitian ini dapat di lihat pada gambar 3.

Pada instalasi diatas pompa diletakkan pada posisi bawah pompa diikat dengan baut pada dudukan, diantara pompa dan dudukan diberi peredam yang bisa dibuat dari karet atau sejenisnya. Pada pipa sebelum masuk ke ejektor di beri dua buah katub pada jalur yang berbeda, hal ini bertujuan untuk katup pertama digunakan mengatur debit aliran fluida yang akan melewati ejektor. Sedangkan katup ke dua digunakan untuk membuang fluida yang berada di instalasi setelah instalasi tersebut dioperasikan.

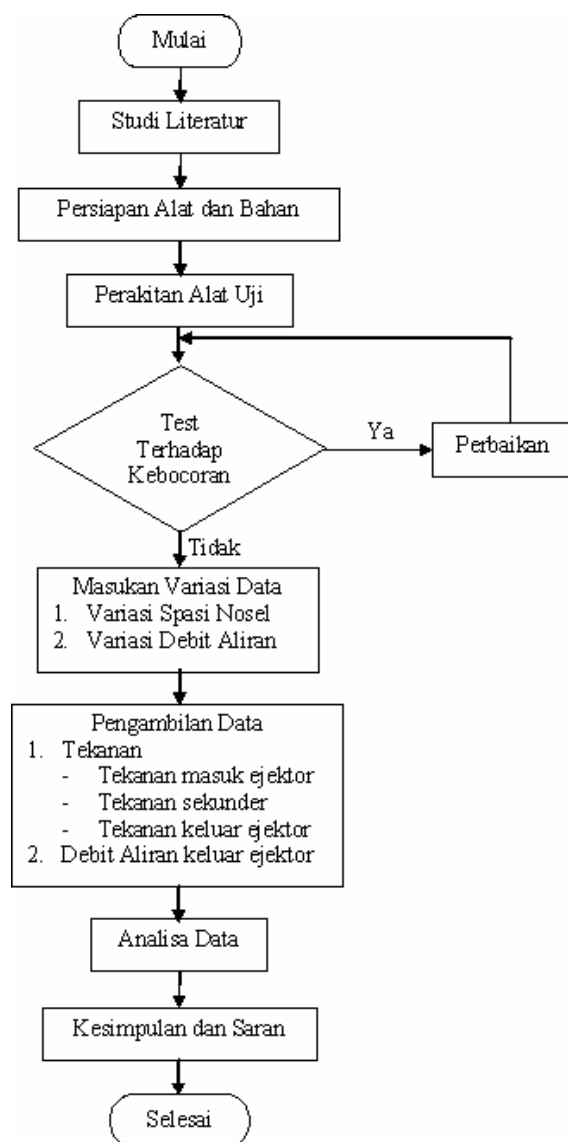
Pengukuran debit aliran menggunakan dua buah rotameter yang dipasang pada sisi masuk ejektor dan keluar ejektor dengan posisi tegak. Pada sisi aliran masuk primer, sekunder dan aliran keluar ejektor terpasang selang yang dihubungkan dengan *pressure gauge* yang digunakan untuk pembacaan tekanan.

### Lokasi Penelitian

Eksperimen tentang pompa jet dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Waktu Pengambilan data penelitian pengaruh ejektor akibat variasi spasi nosel dilakukan mulai Senin 2 November 2006 sampai Senin 30 Desember 2006.

### Metode Penelitian

Prosedur eksperimen untuk pengambilan data pada variasi spasi nosel terhadap pengaruh



**Gambar 4. Diagram alir penelitian**

unjuk kerja pompa jet kurang lebih sebagai berikut :

1. Perakitan ejektor sesuai dengan variasi yang akan diambil datanya.
2. Merakit instalasi sesuai dengan rencana seperti pada gambar 3.
3. Memasang rotameter pada posisi sebelum fluida masuk ke ejektor dan setelah keluar dari ejektor dengan posisi tegak.
4. Memasang pressure gauge pada tiga titik, yaitu pada aliran masuk, aliran keluar, dan pada aliran sekunder.
5. Mengisi air pada bak penampungan.
6. Pengetesan instalasi terhadap kebocoran, dengan menjalankan pompa.  
Jika tidak terjadi kebocoran maka langkah selanjutnya pompa dimatikan terlebih dahulu kemudian dilakukan penyetelan terhadap variasi spasi nosel, yang dimulai dengan jarak spasi 5 mm (0.005 m)
7. Pemasangan kembali ejektor pada instalasi dengan posisi spasi nosel 5 mm.
8. Menjalankan pompa untuk tes kebocoran pada instalasi.
9. Apabila tidak ada kebocoran maka pompa dibiarkan terus hidup dan ditunggu beberapa saat untuk mencapai kondisi stedi.
10. Pemasukan variasi debit aliran mulai dari 20, 25, 30, 35 LPM (liter per menit) dan pencatatan tekanan pada titik-titik pengukuran, juga pencatatan pada debit aliran keluar setelah ejektor.
11. Untuk memperoleh data yang akurat pengambilan data diulangi sebanyak 3 kali dalam tiap spasi nosel.
12. Untuk variasi yang selanjutnya setelah penyetelan terhadap spasi nosel maka ulangi prosedur 7 sampai 11.

### Analisis data

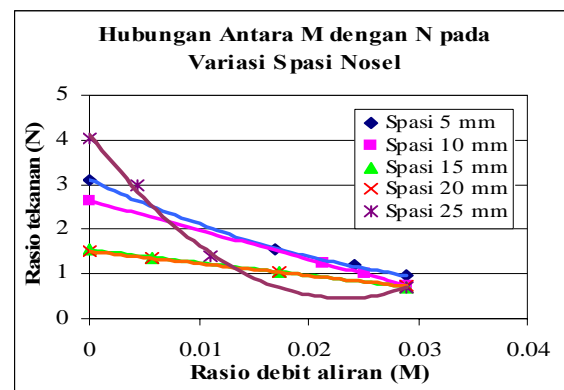
Setelah dilakukan pengujian terhadap ejektor dengan variasi spasi nosel maka didapat data-data antara lain : debit aliran keluar ejektor ( $Q_3$ ) dan pengukuran tekanan pada tiga titik yaitu tekanan pada aliran masuk primer ejektor ( $P_1$ ), tekanan masuk sekunder ( $P_2$ ), dan tekanan keluar ejektor ( $P_3$ ). Dari data pengukuran

tersebut dapat kita gunakan untuk menghitung karakteristik dari ejektor dengan cara menentukan nilai *capacity ratio* ( $M$ ), *head ratio* ( $N$ ), dan efisiensi ( $\zeta$ ). Sedangkan ketiga nilai tersebut dapat kita hitung dengan persamaan (1), (2), dan persamaan (3).

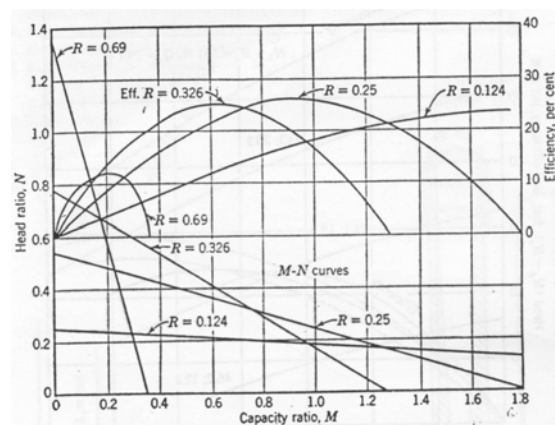
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 5 diperlihatkan grafik perbandingan  $M$  dengan  $N$  pada variasi spasi nosel 5, 10, 15, 20, dan 25 mm didapatkan nilai *capacity ratio* ( $M$ ) tertinggi 0.029 hampir pada tiap variasi spasi nosel dengan nilai *head ratio* ( $N$ ) tertinggi pada variasi spasi nosel 25 mm dengan nilai 4.043.

Dari gambar 5 grafik hubungan  $M$  dengan  $N$  terdapat kemiripan dengan grafik karakteristik



**Gambar 5.** Grafik Hubungan antara (rasio tekanan)  $N$  dan (rasio debit aliran  $Q_2/Q_1$ )  $M$  pada variasi spasi nosel



**Gambar 6.** Grafik Karakteristik *jet pump* (Gosline dan O'Brein)

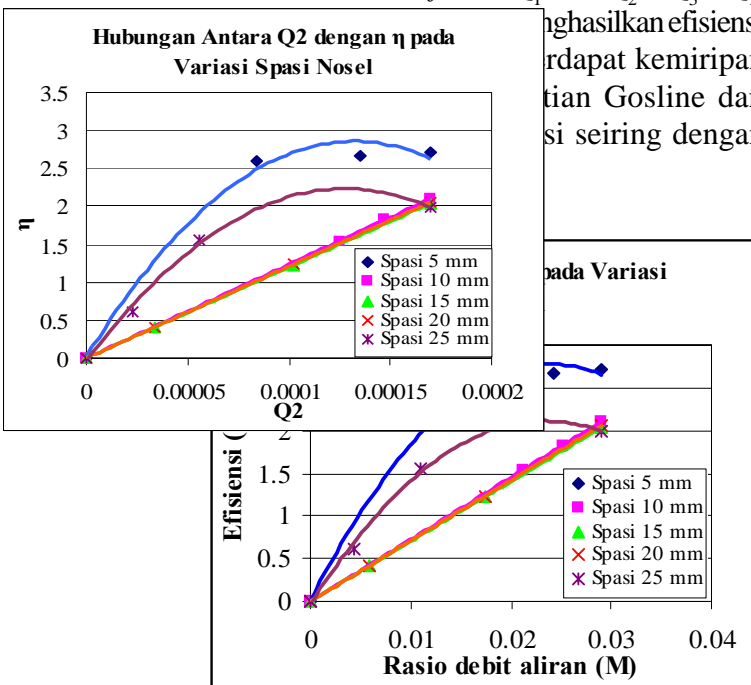
dari pompa jet yang dihasilkan dari penelitian Gosline dan O'Brein dan pencapaian nilai  $N$  yang tinggi tidak terjadi pada nilai  $M$  yang tinggi pula. Seperti dapat kita lihat dalam grafik pada gambar 6.

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa grafik hubungan  $M$  dan  $\zeta$  pada variasi spasi nosel dari spasi 5-30 mm didapatkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada spasi nosel 5 mm dengan nilai 2.714 pada nilai  $M = 0.029$ .

Pada setiap spasi nosel dari penelitian ini sebenarnya mengalami peningkatan efisiensi namun efisiensi yang dihasilkan tidak begitu tinggi seperti efisiensi dari pompa jet yang dihasilkan dari penelitian Gosline dan O'brein yang menghasilkan efisiensi tertinggi dengan nilai 31 %.

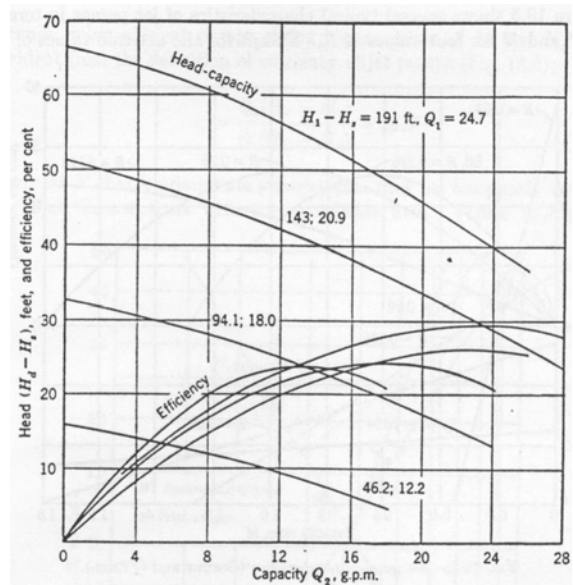
Pada gambar 8 dapat kita lihat bahwa perbandingan efisiensi dengan debit sekunder ( $Q_2$ ) pada variasi spasi nosel mencapai efisiensi tertinggi pada spasi nosel 5 mm dengan nilai efisiensi sebesar 2.714 pada nilai  $Q_2 = 0.00017 \text{ cm}^3/\text{s}$ , sedangkan nilai  $Q_2$  sendiri didapatkan dari nilai debit keluar *ejector*  $Q_3$  dikurangi dengan nilai debit masuk *ejector*  $Q_1$  atau  $Q_2 = Q_3 - Q_1$ .

yang menghasilkan efisiensi dapat kemiripan penelitian Gosline dan O'brein seiring dengan



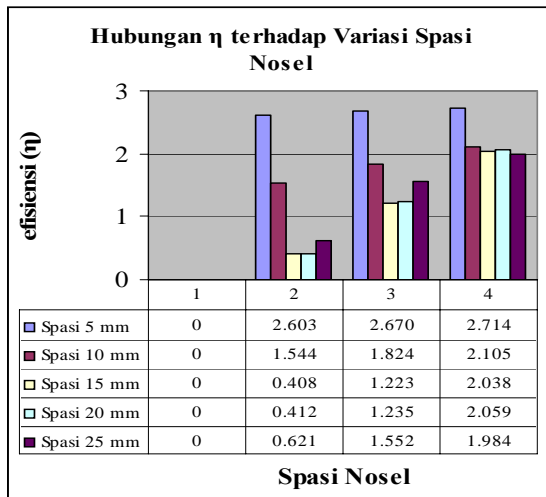
**Gambar 7. Grafik hubungan antara rasio debit aliran ( $M$ ) dan efisiensi ( $\zeta$ ) pada variasi spasi nosel**

**Gambar 8. Grafik Hubungan antara debit aliran sekunder ( $Q_2$ ) dengan efisiensi ( $\zeta$ ) pada variasi spasi nosel**



**Gambar 9. Hubungan debit aliran ( $Q_2$ ) dengan Efisiensi ( $\zeta$ ) (Gosline dan O'brein)**

Dari gambar 10 dapat dilihat perbandingan efisiensi pada tiap – tiap variasi spasi nosel mulai dari 5 mm – 25 mm. Pada spasi 5 mm adalah spasi yang menghasilkan efisiensi tertinggi pada penelitian ini dengan nilai efisiensi 2.714, hal ini dikarenakan pada spasi 5 mm percampuran fluida dari fluida primer  $Q_1$  dan fluida sekunder  $Q_2$  akan segera terdorong keluar dari *vacuum chamber* menuju throat, dibandingkan dengan spasi nosel dengan jarak yang lebih panjang maka



**Gambar 10. Grafik Hubungan antara efisiensi ( $\zeta$ ) terhadap variasi spasi nosel**

fluida akan mengalami pusaran terlebih dahulu sebelum keluar dari *vacum chamber*. Pada spasi 30 mm tidak dimasukkan dalam pembahasan grafik ini karena semua nilai efisiensinya negatif. Penurunan efisiensi yang terjadi seiring dengan bertambahnya spasi nosel.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang di lakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antarlain sebagai berikut :

1. Dari beberapa spasi nosel yang di variasikan yang menghasilkan efisiensi optimum dalam penelitian ini adalah spasi antara 5 – 10 mm
2. Penurunan efisiensi yang terjadi seiring dengan bertambahnya nilai spasi nosel pada aliran primer tertentu disebabkan karena berkurangnya debit aliran sekunder yang terangkat kedalam *vacuum chamber*.
3. Spasi nosel berpengaruh terhadap luas penampang aliran di sisi masuk *throat*.

## PERSANTUNAN

Dalam perjalanan kami selama melakukan penelitian ini, tak lupa kami sampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Marwan Effendy, ST. MT
  2. Bapak Nurmuntaha. A. Nugraha, ST
- Teman-teman satu team (Agung dan Erwin), serta teman – teman seluruh Mahasiswa Teknik Mesin khususnya Angkatan 2002.

## DAFTAR PUSTAKA

- Irsad, M., Indarto dan Purnomo, *Pengaruh Saluran Pengarah pada Nosel Terhadap Kinerja Ejektor untuk Pompa Sentrifugal dengan Head Hisap Tinggi*, Prosiding Seminar Nasional Perkembangna Riset dan Teknologi di Bidang Industri, Jogjakarta, 8 Mei 2002, hal: 116-121.
- Karassik, I.J, 1976, *Pump Hand Book*, Mc, Halaman 4.1 – 4.25 Graw Hill Book Company, New York
- Karassik, I.J, Carter. R, 1960, *Centrifugal Pumps Selection, Operation and Maintenance*, Mc, Graw Hill Book Company, New York
- Nouwen, Ing. A, 1994, *Pompa 1*, Edisi ke 2, Bhratara, Jakarta
- Sanger, N.L, 1970, “*An Experimental Investigation of Several Low-Are-Ratio Water Jet Pump*”, *Journal Of Basic Engineering*, 11-19
- Stepanoff, A.J, *Centrifugal and Axial Flow Pump*, 2<sup>nd</sup>edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.

# PENINGKATAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR ALIRAN AIR MENGGUNAKAN GELEMBUNG UDARA

**Sartono Putro**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Kotak Pos 1 Pabelan Surakarta  
sartono\_putro@ums.ac.id

## ABSTRAK

*Peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi dapat dilakukan dengan memodifikasi permukaan saluran dengan pemasangan sirip. Adapun permasalahan yang ditimbulkan dalam modifikasi ini adalah kesulitan pabrikan dan meningkatkan pressure drop. Perpindahan kalor dalam media aliran gas-cair banyak dijumpai dalam komponen-komponen sistem konversi energi. Perpindahan kalor yang terjadi ditentukan oleh koefisien perpindahan kalor yang dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh hubungan kompleks antara properties fluida, dimensi dan permukaan pipa, serta pola aliran (flow pattern) dua fasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan perubahan debit air, debit udara dan fluks kalor terhadap koefisien perpindahan kalor.*

*Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air dari atas dan udara dari bawah dalam bentuk aliran gelembung. Pipa uji terdiri atas pipa tembaga dengan  $D_i$  24 mm panjang 800 mm dililit dengan elemen pemanas listrik sepanjang pipa. Ujung atas dan bawah pipa uji disambung dengan pipa transparan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi. Untuk mengukur temperatur dinding dipasang termokopel di dinding luar pada lima titik sepanjang pipa uji, sedangkan temperatur fluida diukur dengan memasang termokopel pada sumbu pipa di tujuh titik sepanjang pipa uji.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor eksperimen meningkat dengan meningkatnya debit udara dan menurun dengan meningkatnya debit air. Koefisien perpindahan kalor eksperimen juga meningkat dengan meningkatnya fluks kalor listrik. Koefisien perpindahan kalor prediksi Chen maupun Ghajar memiliki harga yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen. Kondisi penelitian berada pada: kualitas gas ( $x$ ) 0,000058 sampai 0,000116, dan fraksi hampa ( $a$ ) 0,0462 sampai 0,1021, serta fluks kalor listrik ( $q''$ ) 1627,189 W/m<sup>2</sup> sampai 11398,62 W/m<sup>2</sup>.*

**Kata kunci : Perpindahan kalor, Koefisien, Dua fase, Aliran gelembung.**

## PENDAHULUAN

Penelitian-penelitian yang berhubungan dengan upaya mencari peningkatan koefisien perpindahan kalor terus dilakukan. Salah satu cara peningkatan koefisien perpindahan kalor yang banyak dilakukan adalah dengan me-

modifikasi permukaan saluran baik permukaan luar maupun permukaan dalam. Modifikasi yang banyak dilakukan adalah dengan pemasangan sirip pada permukaan luar dan atau permukaan dalam saluran. Adapun permasalahan yang ditimbulkan dalam modifikasi pemasangan sirip

# PENINGKATAN KETAHANAN BENDING KOMPOSIT HIBRID SANDWICH SERAT KENAF DAN SERAT GELAS BERMATRIK POLYESTER DENGAN CORE KAYU SENGON LAUT

Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura

email : agus\_haryanto@ums.ac.id

## ABSTRAK

*Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh ketebalan core dan perlakuan alkali serat kenaf terhadap peningkatan kekuatan bending komposit hibrid sandwich kombinasi serat kenaf dan serat gelas bermatrix Polyester dengan core kayu sengon laut. Mekanisme perpatahan diamati dengan photo makro. Bahan yang digunakan adalah serat kenaf (acak, anyam), serat E-Glass (anyam), resin unsaturated polyester 157 BQTN (UPRs), kayu sengon laut, dan NaOH teknis. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Komposit hibrid sandwich tersusun terdiri dari dua lamina komposit hibrid dengan core ditengahnya. Lamina komposit hibrid sebagai skin terdiri dari satu lamina serat gelas anyam dan 3 lamina serat kenaf (acak - anyam – acak). Fraksi volume serat komposit hibrid adalah 30%. Core yang digunakan adalah kayu sengon laut yang dipotong pada arah melintang. Variabel utama penelitian yaitu perlakuan alkali serat kenaf (0 & 2 jam) dan tebal core (5,10,15,20 mm). Spesimen dan prosedur pengujian bending mengacu pada standard ASTM C 393. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketebalan core mampu meningkatkan kekuatan bending dan momen bending komposit hibrid sandwich. Perlakuan alkali pada serat kenaf menurunkan kekuatan bending pada komposit hybrid sandwich. Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.*

**Kata Kunci : komposit hibrid sandwich, kekuatan bending, perlakuan alkali, mekanisme patahan.**

## PENDAHULUAN

Munculnya *issue* permasalahan limbah *non-organik* serat sintetis yang semakin bertambah mampu mendorong perubahan *trend* teknologi komposit menuju *natural composite* yang ramah lingkungan. Serat alam mencoba menggeser serat sintetis, seperti *E-Glass*, *Kevlar-49*, *Carbon/ Graphite*, *Silicone carbide*, *Aluminium Oxide*, dan *Boron*. Salah

satu jenis serat alam yang tersedia secara melimpah adalah serat kenaf. Keuntungan penggunaan komposit antara lain ringan, tahan korosi, tahan air, *performance*-nya menarik, dan tanpa proses pemesinan. Beban konstruksi juga menjadi lebih ringan. Harga produk komponen yang dibuat dari komposit *glass fibre reinforced polyester (GFRP)* dapat turun hingga 60%, dibanding produk logam (Abdullah dan Handiko,

2000). Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit ini terdiri dari *flat* komposit dan *core*. *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvinyl Chlorida (PVC)*, dan *honeycomb*.

Ketersediaan kayu sengon laut (*albizzia falcata*) yang berlimpah, merupakan SDA yang dapat direkayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* komposit *sandwich*. Rekayasa *core* dapat dilakukan dari kayu utuh ataupun limbah potongan kayu. Konsep rekayasa *core* ini merupakan tahapan alih teknologi yang diilhami oleh masuknya *core* impor kayu balsa dari Australia. Sifat fisik kayu sengon laut hampir sama dengan kayu balsa.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penelitian tentang rekayasa komposit hibrid *sandwich* dengan *core* limbah kayu sengon laut merupakan kajian yang sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Berhubung mayoritas beban yang diterima berbagai panel komposit *sandwich* adalah bending, maka kajian mekanis yang dipandang sangat penting dilakukan adalah kajian kekuatan bending.

### TINJAUAN PUSTAKA

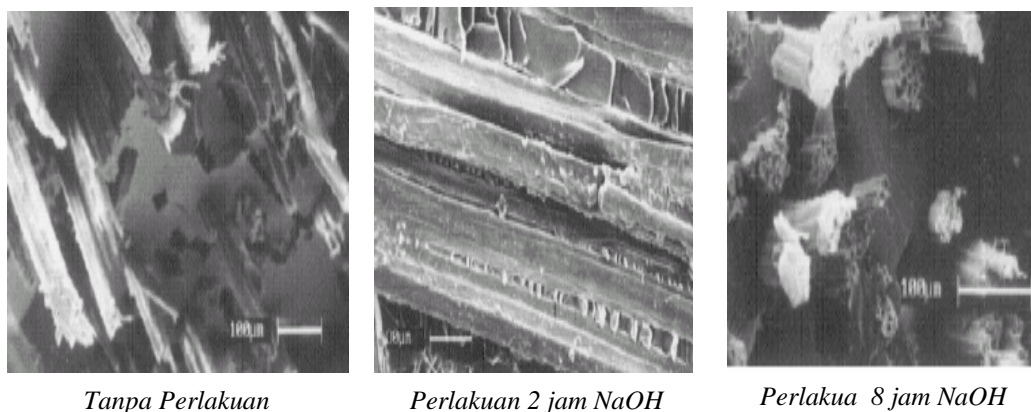
Perlakuan alkali (5% NaOH) serat kenaf dapat membersihkan lapisan lilin (*lignin* dan kotoran) pada permukaan serat sehingga menghasilkan *mechanical interlocking* antara serat dengan matrik poliester. Pada perlakuan serat

selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam, kekuatan tarik bahan komposit kenaf acak - *unsaturated poliester* memiliki kekuatan tertinggi pada perlakuan serat 2 jam. Perlakuan ini dapat mengubah trend pola kegagalan komposit dari jenis kegagalan *fiber pull out* menjadi pola kegagalan *matrix cracking*. Perlakuan serat 2 jam disimpulkan sebagai perlakuan yang paling optimum (Diharjo dkk, 2005).

Perlakuan 5% NaOH selama 4, 6, dan 8 jam, meningkatkan modulus elastisitas serat jute sebesar 12%, 68%, dan 79%. Namun, % regangan patah serat menurun 23% setelah perlakuan 8 jam (Ray dkk, 2001). Perlakuan 5% NaOH serat jute selama 0, 2, 4, 6 dan 8 jam, mempengaruhi *flexural strength* komposit jute-*vinylester* pada  $V_f = 30\%$ , yaitu 180.60, 189.40, 218.50, 195.90 dan 197.50 MPa. Harga modulusnya pun mengalami perubahan yang identik yaitu 10.030, 10.990, 12.850, 12.490 dan 11?170 MPa. Perlakuan serat selama 4 jam menghasilkan komposit yang memiliki modulus dan *flexural strength* tertinggi. Kondisi penampang patahan komposit dengan perlakuan serat 0, 2 dan 8 jam menunjukkan adanya *fiber pull out*, *matric cracking* dan *transfer fracture*, seperti pada gambar 1.

### Sifat Mekanis Komposit Sandwich

Wahyanto dan Diharjo (2004), menyimpulkan bahwa komposit *sandwich* serat gelas acak 300 gr/m<sup>2</sup> pada  $V_f = 30\%$  bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10



**Gambar 1. Penampang Patahan Komposit Jute-vinylester (Ray, 2001)**



mm memiliki kekuatan bending dan impak adalah 125,44 MPa dan 0,045 MPa.

Menurut Febrianto dan Diharjo (2004), pada komposit hibrid *sandwich* serat *E-glass* acak 300 gr/m<sup>2</sup> dan kenaf anyam 810 gr/m<sup>2</sup> pada  $V_f = 30\%$  bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm, kekuatan bending dengan *core* arah serat kayu horisontal adalah 263,28 MPa, lebih besar 81% di atas komposit *sandwich* hibrid dengan *core* kayu vertikal 97,5 MPa. Kekuatan impak komposit *sandwich* dengan *core* vertikal 0,0604 J/mm<sup>2</sup>, lebih besar 4,4% di atas kekuatan impak dengan *core* arah serat kayu horisontal 0,0578 J/mm<sup>2</sup>

**Aspek Geometri**

Menurut Gibson (1994), penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume, agar dihasilkan komposit berkekuatan tinggi. Untuk suatu lamina *unidirectional*, dengan serat kontinyu dengan jarak antar serat yang sama, dan direkatkan secara baik oleh matrik, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Fraksi volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Shackelford, 1992):

dengan catatan :

$V_1, V_2, \dots$  = fraksi volume,

$W_1, W_2, \dots$  = fraksi berat

$\rho_1, \rho_2, \dots$  = densitas bahan pembentuk

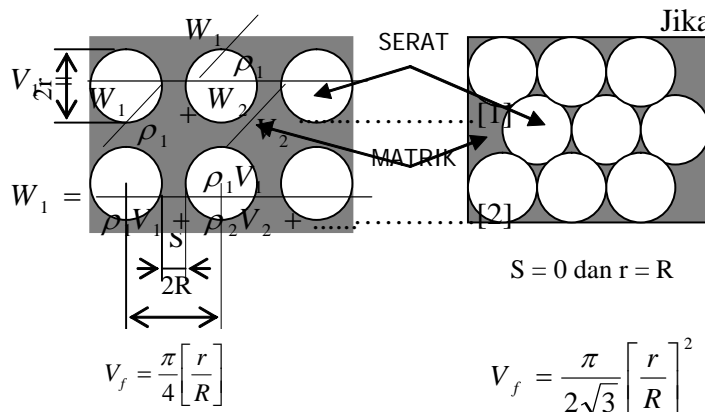
Kekuatan komposit dapat ditentukan dengan persamaan (Shackelford, 1992):

$$s_c = s_f V_f + s_m V_m \dots\dots\dots[3]$$

**Kekuatan Bending Komposit Skin**

Pada umumnya, material komposit mempunyai nilai modulus elastisitas bending yang berbeda dengan nilai modulus elastisitas tariknya. Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen mengalami tekanan, dan bagian bawah mengalami tarikan. Kegagalan yang terjadi akibat uji bending komposit yaitu mengalami patah pada bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Kekuatan bending komposit dapat ditentukan dengan persamaan 4 (ASTM D 790):

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots[4]$$



Jika defleksi maksimum lebih dari 10% antar penumpu (L), kekuatan bending dihitung dengan persamaan 5 yang berbeda daripada persamaan 4.

**Gambar 2. Struktur mikro komposit dengan peletakan serat teratur (Gibson, 1994).**

Modulus elastisitas bendungnya dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bh^3} \dots\dots\dots [6]$$

dengan catatan  $m = slope\ tangent$  garis lurus kurva beban vs defleksi, N/mm.

**Kekuatan Bending Komposit Sandwich**

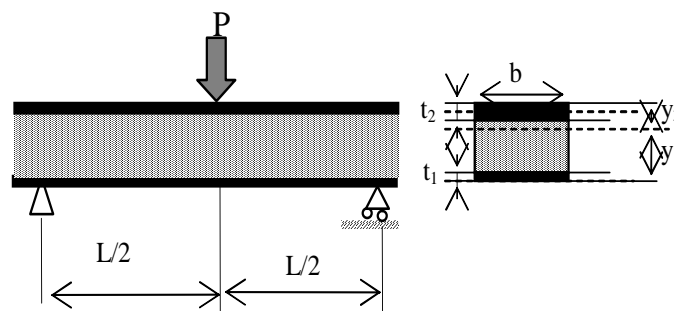
Pada panel komposit *sandwich* yang dikenai uji *three point bending* seperti pada Gambar 3, besarnya tegangan geser pada *core* dapat dihitung dengan persamaan (ASTM C 393):

$$\tau = \frac{P}{(d + c)b} \dots\dots\dots [7]$$

Besarnya tegangan bending maksimum pada bagian permukaan (*facing bending stress*) dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma_b = \frac{PL}{2t(d + c)b} \dots\dots\dots [8]$$

dengan catatan; L = panjang bentangan (mm) dan t = tebal *facing* (mm).



**Gambar 3. Penampang balok sandwich**

Jika pengujian bending dilakukan dengan *four point bending method*, maka besarnya tegangan bending maksimum dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma_b = \frac{PL}{4t(d + c)b} \dots\dots\dots [9]$$

**Mode Kegagalan Komposit Sandwich**

Mode kegagalan komposit *sandwich* ada 4 macam yaitu (1) kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik, (2) kegagalan bagian *skin* akibat beban *buckling*, (3) kegagalan geser pada bagian *core*, dan (4) kegagalan delaminasi antara komposit *skin* dan *core*. Mode kegagalan tersebut ditunjukkan seperti pada gambar 4.

**METODE PENELITIAN**

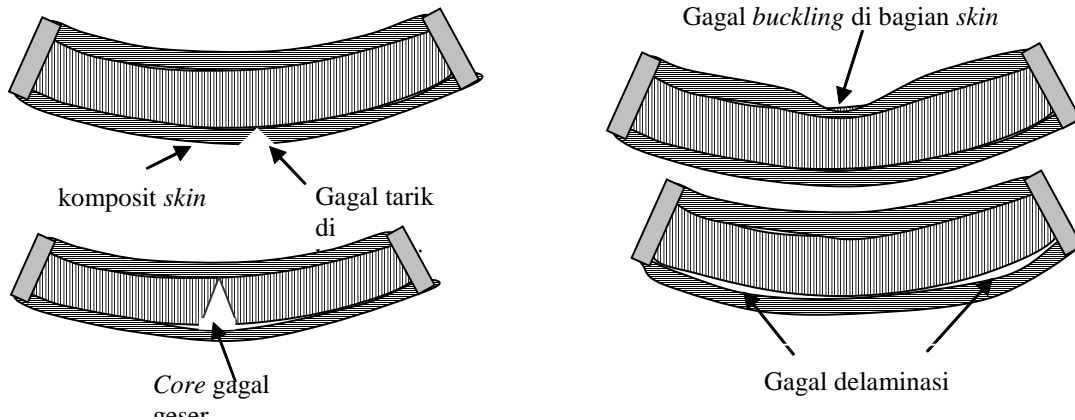
**Bahan dan Alat Penelitian**

Bahan utama penelitian adalah serat gelas anyam dengan *density* 450 gr/m<sup>2</sup>, serat kenaf

acak dengan *density* 300 gr/m<sup>2</sup> (dibuat sendiri), serat kenaf anyam dengan *density* 810 gr/m<sup>2</sup> (karung goni), *core* kayu sengon laut, *unsaturated poliester* type 157 BQTN, dan *hardener* MEKPO dengan kadar 1%. Peralatan yang digunakan adalah Mesin uji tarik/ bending merek TARNO GROCKY, timbangan untuk menentukan fraksi volume serat Foto Makro, *Oven* pengering, *Press Mold*.

**Pembuatan spesimen uji**

Spesimen uji komposit hibrid *sandwich* dibuat dengan *metode press mold*. Fraksi volume serat lamina komposit hibrid bagian ditentukan 30%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit *sandwich* saat pencetakan. Komposit *sandwich* hibrid tersusun dari dua lamina komposit hibrid dengan *core* kayu sengon laut di bagian tengahnya. Lamina komposit hibrid tersusun dari lamina serat gelas anyam dan 3 lamina serat kenaf (acak-anyam-acak). Posisi



**Gambar 4. Aneka mode kegagalan uji bending struktur komposit *sandwich*.**

serat gelas ditempatkan pada sisi terluar yang menerima beban lebih berat. Serat kenaf yang digunakan terdiri dari serat tanpa perlakuan dan serat perlakuan NaOH selama 2 jam. Core kayu sengon laut dibuat dengan pemotongan pada arah melintang (tegak lurus serat kayu). Ketebalan core divariasasi 5, 10, 15, dan 20 mm.

Agar hasil penelitian lebih komprehensif, maka komponen penyusun komposit *sandwich* juga dilakukan uji bending. Pembuatan spesimen ini dilakukan tersendiri dengan mengacu standar ASTM D 790 (untuk bending komposit *skin*) dan ASTM D 4761 (untuk pengujian bending *core*).

**Metode Pengujian spesimen uji**

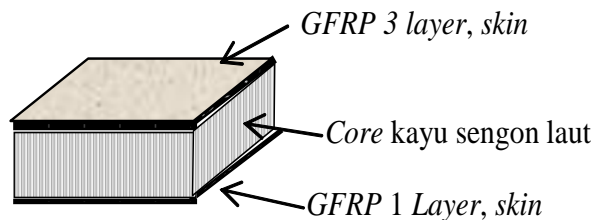
Berhubung aplikasi komposit *sandwich* adalah untuk *panelling* / kereta api, bis, maka pengujian yang penting dilakukan adalah uji bending. Pengujian bending dilakukan di UGM menurut standar ASTM C 393 – 94.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Kekuatan Bending**

Komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan alkali mampu menahan momen bending yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Momen bending meningkat seiring dengan penambahan ketebalan *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich* menunjukkan secara signifikan peningkatan kemampuan menahan momen bending. Sifat material yang lebih lunak (*core* kayu sengon laut) dan penambahan ketebalan menyebabkan memiliki kemampuan menahan momen bending yang lebih tinggi.

Selain itu, efek perlakuan alkali (NaOH) pada serat kenaf menurunkan momen bending. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan perilaku komposit hibrid *skin* menjadi lebih getas. Bila ditinjau dari segi kekuatan bending, kekuatan bending komposit hibrid *sandwich* optimum



**Gambar 5. komposit *sandwich***

**Tabel 1. Momen bending komposit hibrid *sandwich***

Tebal <i>Core</i> (mm)	Momen Maksimum N.mm		Tegangan Bending MPa	
	Tanpa NaOH	2 jam NaOH	Tanpa NaOH	2 jam NaOH
5	45600	21150	20,55	10,55
10	48150	34050	35,9	21,24
15	51000	43950	23,13	19,21
20	63900	48750	21,63	16,52

Tebal <i>Core</i> (mm)	Tegangan Bending Skin MPa		Kekuatan geser <i>core</i> MPa	
	Tanpa NaOH	2 jam NaOH	Tanpa NaOH	2 jam NaOH
5	20,55	10,55	29,12	14,77
10	35,9	21,24	39,87	25,25
15	23,13	19,21	26,27	21,92
20	21,63	16,52	24,21	18,45

pada ketebalan *core* sekitar 10 mm. Komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf dengan perlakuan alkali 2 jam.

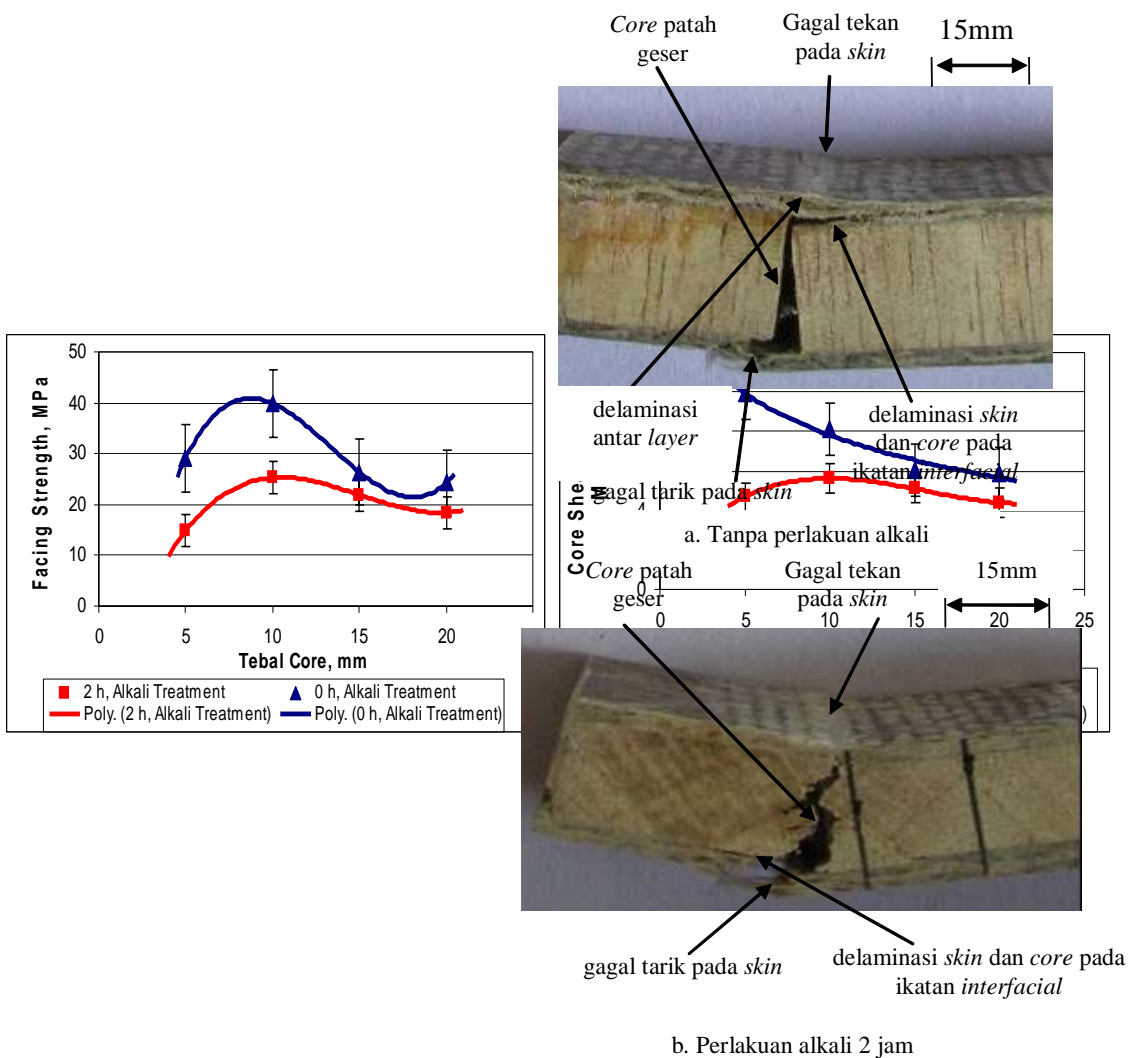
Berdasarkan analisis yang dihitung dengan standar ASTM D 393, komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan alkali juga memiliki kekuatan bending *skin* yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Hal yang sama menunjukkan bahwa kekuatan bending yang paling optimum terjadi pada komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 10 mm.

Analisis kekuatan geser *core* menunjukkan bahwa tegangan geser *core* komposit dengan serat kenaf tanpa perlakuan alkali menurun seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Namun pada komposit yang diperkuat serat kenaf perlakuan alkali 2 jam, tegangan geser *core* meningkat pada ketebalan *core* 10 mm dan selanjutnya tegangan geser tersebut menurun pada ketebalan *core* 15 dan 20 mm. Efek perlakuan alkali mengindikasikan bahwa perlakuan 5% NaOH pada serat kenaf selama 2 jam menurunkan kekuatan geser *core* komposit hibrid *sandwich*.

**Gambar 6. Kurva momen dan kekuatan bending komposit hibrid *sandwich*.**

**Gambar 7. Kurva Tegangan bending *skin* dan tegangan geser *core* komposit hibrid *sandwich***

**Analisis Pola Kegagalan**



**Gambar 8. Penampang patahan komposit hibrid *sandwich***

Kegagalan bending komposit *sandwich core* arah serat kayu vertikal ditunjukkan pada gambar 8a dan gambar 8b. Secara umum, pola kegagalan diawali dengan retakan pada komposit *skin* yang menderita tegangan tarik. Kemudian, beban bending tersebut didistribusikan pada *core* sehingga menyebabkan *core* mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core*.

Gambar 8 menunjukkan secara jelas adanya kegagalan tarik pada komposit *skin* bawah, gagal geser *core* dan kegagalan tekan pada *skin atas*. Mekanisme patahan terjadi karena kegagalan komposit hibrid *sandwich* akibat beban bending berawal dari *skin* komposit sisi belakang (bawah) dan dilanjutkan dengan kegagalan *core*, delaminasi *skin* dan *core* pada ikatan *interfacial*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan alkali pada serat kenaf menurunkan kekuatan bending, sebesar 14,66 MPa atau sebesar 40,8 % pada ketebalan *core* 10 mm pada komposit *hybrid sandwich*.
2. Penambahan ketebalan *core* hingga 10 mm pada komposit *hybrid sandwich* tanpa perlakuan alkali, dan dengan perlakuan alkali meningkatkan kekuatan bending sebesar 15,35; 10,69 MPa (sebesar 42,7; 50,32 %) (Tegangan bending komposit hibrid *sandwich* memiliki harga yang optimum pada ketebalan *core* 10 mm), ketebalan *core* 5 mm hingga 20 mm meningkatkan momen bending sebesar 18300; 27600 N.mm (sebesar 28,63; 56,61 %).
3. Tahapan pola kegagalan komposit hibrid *sandwich* adalah kegagalan tarik *skin* komposit sisi bawah, kegagalan geser *core*, delaminasi *skin* komposit sisi atas dengan *core*, kegagalan *skin* komposit sisi atas.

## DAFTAR PUSTAKA

- ....., *Annual Book of Standards, Section 15, C 393-94, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions"*, ASTM, 1994
- ....., *Annual Book of Standards, Section 8, D 790-02, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials I"*, ASTM, 2002
- ....., *Annual Book of Standards, Section 8, D 4761-94, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Core Constructions"*, ASTM, 1994
- Abdullah dan Handiko G.W., 2000. "*Aplikasi Komposit GFRP untuk Komponen Gerbong Kereta Api*", INKA, Madiun.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Random kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, National Seminar Proceeding, Center of Inter University, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, International Seminar Proceeding, Kentingan Physics Forum, UNS, Surakarta, Indonesia.

- Diharjo K., Soekrisno, Triyono dan Abdullah G., (2002-2003). “*Rancang bangun Dinding Kereta Api Dengan Komposit Sandwich Serat gelas*”, Penelitian Hibah Bersaing X, DIKTI, Jakarta.
- Eichhorn S.J., Zafeiropoulos C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F.G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., 2001. “*Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*”, *Jurnal of materials Science*, pp. 2107-2131.
- Febrianto, B, Diharjo, K, 2004, *Kekuatan Bending Dan Impak Komposit Hibrid Sandwich Kombinasi Serat Karung Goni Dan Serat Gelas Polyester Dengan Core Kayu Sengon Laut*, Skripsi, UNS, Surakarta
- Gibson, O. F., 1994. “*Principle of Composite Materials Mechanics*”, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Ray D., Sarkar B.K., Rana A.K., dan Bose N.R., 2001. “*Effect of Alkali Treated Jute Fibres on Composites Properties*”, *Bulletin of Materials Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 129-135, Indian Academy of science.
- Shackelford, 1992. “*Introduction to Materials Science for Engineer*”, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.
- Sudiyono dan Diharjo K., (2003). “*Karakteristik Mekanis Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Foam/PU*”, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin FT-UNS, Surakarta.
- Wahyanto, B, Diharjo, K, 2004, *Karakterisasi Uji Bending Dan Impak Komposit Sandwich GRFP Dengan Core Kayu Sengon Laut*, Skripsi, UNS, Surakarta

# KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BRIKET CAMPURAN ARANG KAYU DAN JERAMI

**Subroto**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl.A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

## ABSTRAK

*Dewasa ini, harga bahan bakar minyak semakin membumbung tinggi, sebagai alternatif maka dilakukan penelitian tentang potensi biomass jerami dan arang kayu sebagai sumber energi alternatif. Tujuan penelitian ini adalah mencampur jerami dan arang dengan komposisi tertentu dan menentukan karakter pembakarannya, sehingga nantinya dapat diketahui komposisi mana yang paling baik digunakan.*

*Dalam penelitian ini komposisi yang diuji adalah biobriket dengan perbandingan prosentase jerami: arang kayu = 30% : 70%, 40% : 60%, 50% : 50%. Pengujian pembakaran dilakukan dengan kecepatan udara konstan untuk mengetahui besarnya laju pengurangan massa, laju pembakaran dan temperatur pembakaran, kemudian dilanjutkan dengan pengujian emisi polutan.*

*Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah diuji, biobriket dengan campuran 50% jerami dan 50% arang kayu mempunyai laju pembakaran yang tinggi. Penambahan biomasa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari adalah komposisi arang kayu : jerami = 50% : 50% karena lebih ramah lingkungan, sedangkan untuk kebutuhan industri, komposisi terbaik dengan pencapaian temperatur tertinggi adalah komposisi arang kayu : jerami = 70% : 30%.*

**Kata kunci : Biobriket, Arang Kayu dan Jerami, Karakteristik Pembakaran.**

## PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah energi yang tidak dapat diperbarui, tetapi dalam kehidupan sehari-hari bahan bakar minyak masih menjadi pilihan utama sehingga akan mengakibatkan menipisnya cadangan minyak bumi di dalam bumi. Sementara batubara dan gas bumi belum dimaksimalkan pemanfaatannya untuk konsumsi dalam negeri. Sesungguhnya negara kita mempunyai potensi yang luar biasa mengenai sumber-sumber daya energi alternatif.

Beberapa energi alternatif yang biasa dikembangkan sebagai pengganti dari minyak bumi adalah gas bumi, batubara, arang kayu dan biomasa. Untuk gas bumi dan arang kayu masih merupakan energi yang masih belum dimaksi-

malkan pemakaiannya, berdasarkan hal diatas membuat peneliti berfikir untuk memanfaatkan sumber energi alternatif baru yang relatif murah, dan dapat dijangkau oleh masyarakat bawah.

Biomasa merupakan bahan hayati yang biasanya dianggap sebagai sampah dan sering dimusnahkan dengan cara dibakar. Biomassa tersebut dapat diolah menjadi biobriket, yang merupakan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dan dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

## BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah karakteristik pembakaran biobriket berbahan



dasar arang kayu dengan campuran jerami dengan kecepatan udara pembakaran konstan dengan variasi komposisi.

### TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran biobriket campuran arang kayu dan jerami yang meliputi :

1. Untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap laju pembakaran.
2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap temperatur pembakaran .
3. Untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap tingkat polusi hasil pembakaran.

### STUDI PUSTAKA

Pembakaran biomasa akan dapat memperbaiki performa pembakaran dan mengontrol emisi NO<sub>x</sub> karena *biomass* banyak mengandung *volatile matter* termasuk juga jenis N-*volatile* sebagai contoh NH<sub>3</sub>. Davidson *et al*, 1999 dalam (Himawanto, 2003).

Naruse *et al* (1999) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran biomasa yang berasal dari limbah jagung. Didapatkan bahwa karakteristik pembakaran biomasa tergantung dari komposisi biomasa, disamping itu juga didapatkan bahwa adapat memperbaiki proses penyalaan dari pembakaran batu bara, selain itu dalam pembakaran antara batubara dan *biomas* akan tercampur oleh abu dari batubara selama proses pembakaran.

Sudrajat (2000) melakukan penelitian tentang pemanfaatan energi dari biomasa sebagai sumber alternatif, dimana dia mendapatkan data yang menunjukkan besarnya tingkat sampah yang dihasilkan di beberapa kota besar di Indonesia pada tahun 2000 yang mana sebagian besarnya adalah sampah organik yang mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi.

Antolin (1991) melakukan penelitian pembakaran limbah kopi, mendapatkan bahwa pembakaran limbah kopi menghasilkan kadar sulfur yang rendah, selain itu keringnya kandungan campuran awal dari limbah kopi akan menguntungkan karena naiknya nilai kalor, dan juga dari penelitian ini didapatkan satu

kesimpulan bahwa pengeringan merupakan hal yang sangat penting dalam menyiapkan limbah kopi menjadi bahan bakar.

Biobriket mempunyai temperatur penyalaan (*ignition temperature*) yang lebih rendah dan *burn out time* yang lebih pendek dibandingkan dengan briket batubara. Ketika briket dipanasi temperaturnya naik, setelah mencapai temperatur tertentu, *volatile matter* keluar dan terbakar disekitar briket. Temperatur ini disebut temperatur nyala. Temperatur nyala turun jika campuran biomasa lebih banyak (Naruse, 2001).

Huff *et al* 1998 dalam (Himawanto,2003) melakukan penelitian mengenai pengaruh ukuran, bentuk, densitas, kadar air dan temperatur dinding tungku terhadap waktu pembakaran kayu. Ukuran bahan bakar dan temperatur dinding tungku memberikan pengaruh besar terhadap waktu pembakaran. Kadar air memberikan pengaruh yang lebih kecil dan temperatur udara tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada waktu pembakaran total.

### Pengertian Arang

Menurut Ketaran (1980), arang adalah bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur C. Sebagian besar dari pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari "*fixed carbon*", abu, air, nitrogen dan sulfur.

### Macam Arang

Dalam bidang industri dikenal bermacam-macam arang yang berhubungan dengan pembuatan dan kegunaannya. arang dihasilkan dari pembakaran bahan baku yang mengandung karbon. Bahan baku tersebut biasa berasal dari bahan nabati atau hasil ikutannya dan dari hasil hewani.

*Carbon black* adalah suatu karbon berbentuk *amorfy* yang dihasilkan oleh pemanasan atau pemecahan oksidasi dari hidro karbon. *Baked carbon* adalah suatu istilah yang digunakan untuk arang yang dibuat dari pemanggangan pada suhu 1000-1800 °C. Biasanya merupakan campuran dari bermacam-macam bahan yang mengandung karbon.

Tahapan dalam pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:

1. Pengeringan. Dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada didalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar tersebut.
2. Devolatilisasi. Yaitu proses bahan bakar mulai mengalami *dekomposisi* setelah terjadi pengeringan.
3. Pembakaran Arang. Sisa dari *pirolisis* adalah arang (fix carbon) dan sedikit abu, kemudian partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan 70%-80% dari total waktu pembakaran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran jerami dengan arang kayu antar lain:

- a. Kadar air. Kandungan air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran.
- b. Kadar kalori. Semakin besar nilai kalor maka kecepatan pembakaran semakin meningkat.
- c. Kadar abu. Kadar abu yang tinggi didalam

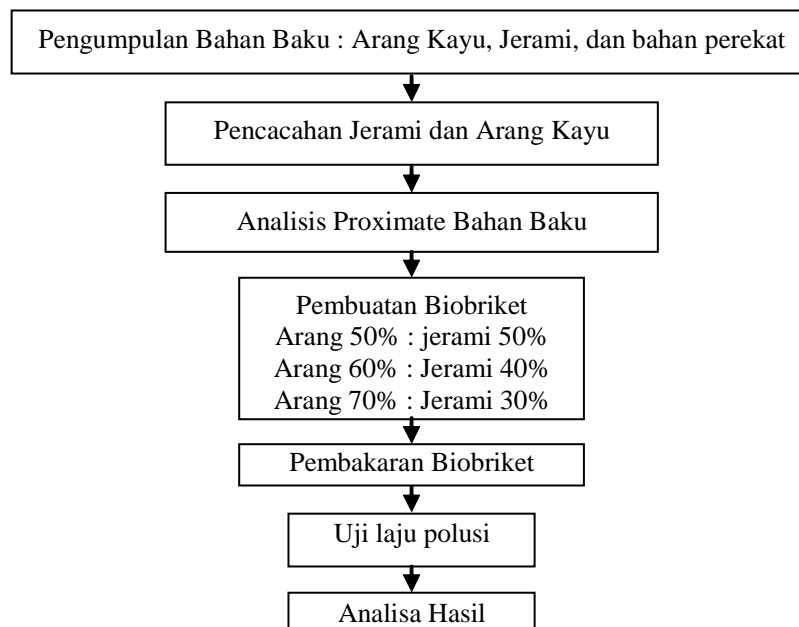
jerami tidak mempengaruhi proses pembakaran. Kadar abu yang tinggi dalam jerami akan memepersulit penyalaan.

- d. *Volatile matter* atau zat-zat yang mudah menguap. Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada biobriket maka semakin mudah bio-briket untuk terbakar dan menyala.
- e. *Bulk density*  
Jerami mempunyai *bulk density* yang jauh lebih rendah dibandingkan arang kayu.

Secara teoritis pembakaran bahan bakar menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O saja, padahal kenyataannya pembakaran pada bahan bakar banyak yang tidak sempurna dimana akan menimbulkan zat-zat polutan yang berbahaya terhadap kesehatan manusia. Adapun beberapa polutan dari bahan bakar antara lain : Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Carbon Monoksida (CO), Oksida nitrogen (NO<sub>2</sub>), Oksidan (O<sub>3</sub>), Hidrokarbon (HC), Klorin (CL<sub>2</sub>), Partikel debu, Timah Hitam (Pb), Besi (Fe).

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Diagram alir penelitian



**Gambar 1. Diaram Alir Penelitian**

## B. Pengolahan Bahan Baku

1. Bahan Penelitian
  - a. Arang Kayu
  - b. Jerami
  - c. Bahan perekat tepung pati
  - d. Gas LPG, bahan bakar untuk memanaskan tungku
2. Pengolahan Bahan Baku
  - a. Penghalusan arang kayu menjadi serbuk.
  - c. Pencacahan jerami menjadi serbuk.
  - d. Pembuatan bahan perekat.

## C. Pembuatan Biobriket

- a. Pencampuran Bahan Baku  
Arang kayu, jerami dan bahan perekat dicampur hingga rata dengan komposisi Jerami: Arang Kayu = 30% : 70%, 40% : 60%, 50% : 50% (dalam hal ini prosentase bahan perekat diabaikan dan dianggap homogen).
- b. Pencetakan Biobriket  
Bahan baku yang telah tercampur rata dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk silinder dengan diameter 1,5 cm dan tinggi 1,75cm.
- c. Pengepresan  
Bahan baku dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian dilakukan pengepresan dengan tekanan 100 kg/cm<sup>2</sup> dan didiamkan selama 10 menit. Setelah itu biobriket dikeluarkan dari cetakan dan dikeringkan ditempat yang tidak terkena sinar matahari secara langsung selama 3 hari.

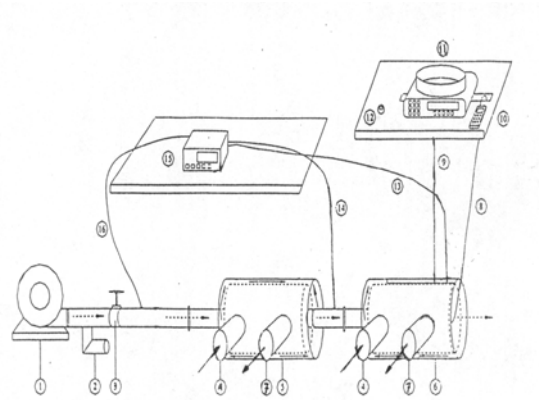
Adapun Biobriket yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Biobriket

## D. Peralatan Yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdapat di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta



Gambar 3. Sketsa Alat Uji

Keterangan :

→ Aliran pemanas LPG

Aliran udara

1. Blower
2. Saluran by pass
3. Katup pengatur aliran udara
4. Saluran masuk pemanas LPG
5. Tungku 1
6. Tungku 2
7. Saluran buang pemanas LPG
8. Termakopel temperatur dig
9. Kawat penggantung sampel bahan bakar
10. Digital termocouple reader
11. *Electronic professional scale*
12. *Stop wacth*
13. Termokopel temperatur gas pembakaran
14. Termokopel temperatur udara pre-heater
15. Digital termocouple reader
16. Termokopel temperatur udara

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat-sifat bahan dasar

Untuk mengetahui sifat-sifat bahan dasar dilakukan penelitian di Laboratorium Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada.

**Tabel 1. Sifat-sifat Bahan Dasar**

Sifat	Jerami	Arang Kayu
Kadar air (%)	12,47	6,86
Kadar abu (%)	18,48	4,09
Fix Karbon (%)	2,71	52,35
Nilai kalor (kal/kg)	3456,483	6987,723
Volatile matter (%)	66,35	36,69

**Gambar 4. Tempat Pembakaran Biobriket**

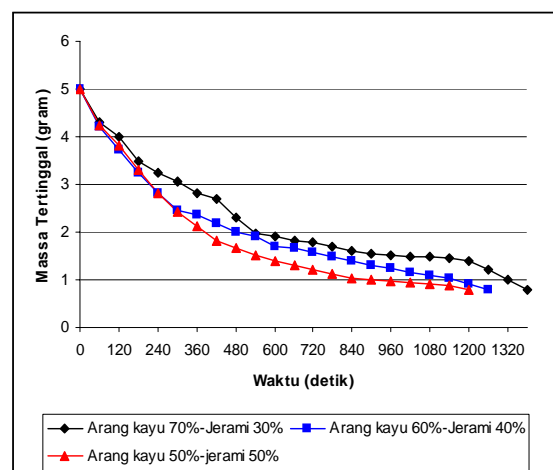


**Gambar 5. Alat Pengepres Biobriket**



**Gambar 6. Cetakan Biobriket**

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai *volatile matter* tertinggi dimiliki oleh jerami. Hasil diatas juga terungkap bahwa nilai kalor arang kayu dan jerami yang diteliti relatif masih cukup besar sehingga masih dapat dilakukan proses pembakaran. Kadar karbon tertinggi dimiliki oleh arang kayu dan terlihat untuk jerami memiliki kadar karbon yang lebih rendah, nilai kadar karbon ini akan memegang peranan penting dalam hal polusi udara yang ditimbulkan. Untuk kadar abu terendah dimiliki oleh arang kayu karena sewaktu pembakaran hanya menghasilkan sedikit abu dibandingkan jerami, hal ini disebabkan oleh nilai kadar air yang terkandung didalam jerami lebih tinggi dibandingkan dengan arang kayu.

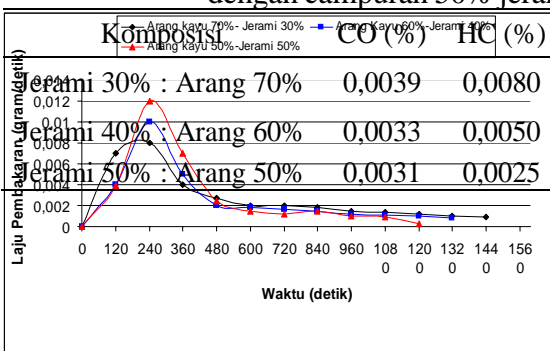


**Gambar 1. Grafik Masa Tertinggal terhadap Waktu**

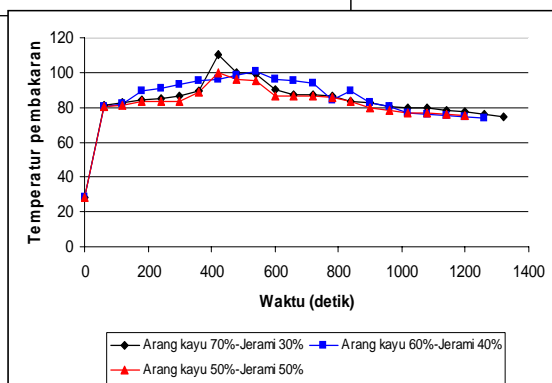
Dari gambar 1 terlihat bahwa penurunan massa saat pembakaran yang paling cepat adalah pada pembakaran biobriket yang memiliki campuran komposisi 50% Jerami dan 50% arang kayu dan yang paling lama adalah pada biobriket campuran 40% Jerami dan 60% arang kayu, sedang pencampuran antara kedua biomasa menunjukkan pengurangan massa yang relatif baik yaitu akan dapat memperbaiki sifat jerami yang cepat habis.

**Gambar 2. Grafik Laju Pembakaran terhadap Waktu**

Dari gambar 2 terlihat bahwa biobriket dengan campuran 50% jerami dan 50% arang



karan yang tinggi, yang rendah adalah in campuran 30% yu, hal ini menunt- atile matter berpe- ran. Karakter pem- ga didukung oleh dari jerami tinggi



**Gambar 3. Grafik Temperatur Pembakaran terhadap Waktu**

Hubungan temperatur pembakaran dengan waktu sebagai pengaruh variasi komposisi campuran dari biomassa, dengan kecepatan udara 0,3 m/s ditampilkan pada gambar 3. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pembakaran tertinggi adalah pembakaran campuran arang 70%-jerami 30%, sedang arang 50%-jerami 50% mempunyai pembakaran yang rendah, hal ini menunjukkan bahwa kandungan *volatile* sangat berpengaruh terhadap pembakaran.

Untuk mengetahui kandungan polutan yang terjadi pada pembakaran biobriket dilakukan penelitian di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2. Polutan Pada Pembakaran Biobriket**

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa semakin besar prosentase biomasa pada biobriket maka kandungan emisi polutan HC, CO dan NO<sub>x</sub> semakin berkurang. Dari ketiga variasi komposisi tersebut dapat disimpulkan bahwa biobriket yang paling rendah polutannya adalah biobriket dengan komposisi jerami 30% : 70% arang kayu.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Laju pembakaran biobriket yang paling cepat adalah pada komposisi 50% jerami : 50% arang kayu. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan *volatile matter*. Semakin banyak kandungan *volatile matter* suatu biobriket maka semakin mudah biobriket tersebut terbakar, sehingga pembakaran semakin cepat.
2. Biobriket dengan campuran 30% jerami : 70% arang kayu mempunyai temperatur

pembakaran yang tinggi, sedangkan untuk temperatur pembakaran yang rendah terdapat pada biobriket dengan campuran 50% arang kayu dan 50% jerami, hal tersebut disebabkan oleh besar kecilnya nilai kalor yang terdapat pada biobriket-biobriket tersebut.

3. Biobriket dengan tingkat polusi terendah adalah pada komposisi 50% jerami : 50% arang kayu. Semakin banyak kandungan arang kayu pada biobriket maka semakin banyak kandungan HC, semakin banyak kandungan jerami pada biobriket akan menurunkan emisi polutan HC

### DAFTAR PUSTAKA

- Antolin, G., Velasco, E., Irusta, R., Segovia, J.J., 1991, “ *Combustion of Coffee Lignocellulose Waste* “, Proceedings of First International Conference, Vila Moura, Portugal
- Ketaran, S.G, 1980, “ *Petunjuk Praktek Pengolahan Hasil Pertanian 3* “. Depdikbud. Jakarta
- Himawanto, D.A, 2003, “ *Pengolahan Limbah Pertanian menjadi Biobriket sebagai salah satu Bahan Bakar Alternatif* “, Laporan penelitian, UNS.
- Naruse, I., Gani, A., Morishita, K., 2001, ‘ *Fundamental Characteristic on Co-Combustion of Low Rank Coal with Biomass*’, Pittsburg coal Conf
- Sudradjat, R, 2001, ‘ *The Potensial of Biomass Energy Resources in Indonesia for the Possible Development of Clean Technology Process (CPT)*, Laporan penelitian, Jakarta