

## PEMODELAN POROS DAN BANTALAN SISTEM TURBIN GAS PADA REAKTOR GARAM CAIR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Oleh

Sri Sudadiyo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**PEMODELAN POROS DAN BANTALAN SISTEM TURBIN GAS PADA REAKTOR GARAM CAIR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA.** Dari sudut pandang sistem energi dan lingkungan, Reaktor Garam Cair (*Molten Salt Reactor / MSR*) merupakan teknologi reaktor nuklir generasi-IV yang mempunyai kemampuan baik untuk alat pembangkit listrik. Dalam MSR, panas yang diperoleh dari bahan nuklir dipindahkan ke sistem pendingin sekunder melalui penukar kalor menggunakan siklus tertutup turbin helium, dimana helium panas yang dihasilkan diekspansikan melalui turbin untuk menghasilkan daya poros. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan dan tekanan pada poros dan bantalan pada sistem turbin MSR dengan memanfaatkan metode elemen hingga sebagai alat yang sering digunakan untuk penyelesaian persamaan diferensial dalam pemodelan. Dari kurva pemodelan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa distribusi tegangan pada poros akan naik apabila aspek rasio meningkat dan tekanan maksimum dalam bantalan berada pada posisi 0,7 dengan distribusi tegangan geser menurun.

Kata kunci: Reaktor Garam Cair, poros, bantalan, turbin gas

### ABSTRACT

**MODELING OF SHAFT AND BEARING FOR GAS TURBINE SYSTEM WITHIN MOLTEN SALT REACTOR USING FINITE ELEMENT METHOD.** From the viewpoint of energy system and environment, concept for Molten Salt Reactor (MSR) is type of generation-IV nuclear reactor technology which has good potential for electricity generation device. Within MSR, the obtained heat of nuclear fuel was transferred to secondary coolant system through the heat exchanger using closed cycle of helium turbine, in which the resulted hot helium was expanded to the turbine for getting the shaft power. The purpose of this study is to determine stress and pressure distributions on the shaft and bearing in the turbine system of MSR by employing finite element method as widely used tool for the solution of differential equations within modeling. From the obtained modeling curves, it can be known that stress distribution on shaft will rise when aspect ratio increases and the maximum pressure within bearing was on position of 0,7 with distribution of shear stress decreases.

Keywords: Molten Salt Reactor, shaft, bearing, gas turbine

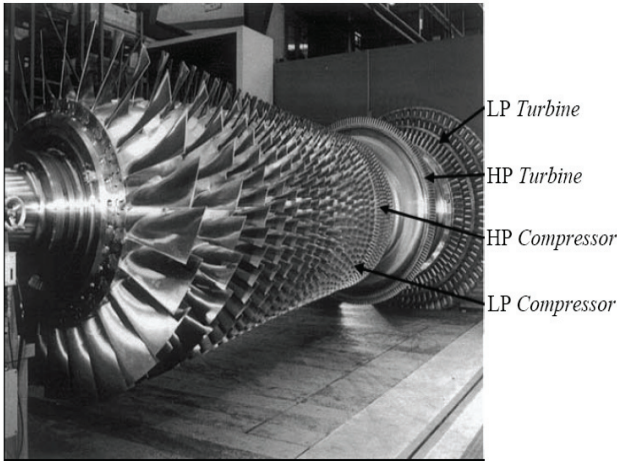
### PENDAHULUAN

Konsep instalasi Reaktor Garam Cair (*Molten Salt Reactor / MSR*)<sup>[1]</sup> merupakan jenis teknologi reaktor nuklir Generasi IV (sistem reaktor maju) untuk alat pembangkit listrik dengan daya 1000 MWe. Dalam makalah ini, desain lengkap dari sistem MSR masih belum ditentukan. Instalasi MSR memakai garam cair untuk mendinginkan inti reaktor dan memakai gas helium untuk mengambil panas melalui alat penukar kalor dari sirkulasi garam cair tersebut, seperti diilustrasikan pada Gambar 1<sup>[2]</sup>. Gas helium disirkulasikan dalam siklus tertutup turbin dan kompresor yang beroperasi pada tekanan 0.5 MPa dan temperatur 973 K, dimana konstruksinya dapat bekerja dengan aman apabila poros *rotor* turbin dan *impeller* kompresor diletakkan pada posisi yang tepat dengan tidak ada kemiringan diantara pelat pada bantalan (*journal bearing*). Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi atau menghilangkan

ketidakstabilan pada poros yang berputar karena dapat mengakibatkan retaknya poros. Dan apabila berputar, poros yang retak ini akan memberikan respon dinamik akibat tegangan aksial dan radial yang terjadi. Ketidakstabilan poros yang berputar ini ditimbulkan karena adanya tekanan dalam bantalan akibat adanya sebuah pergerakan relatif terhadap permukaan yang menekan cairan melalui sebuah celah konvergen.

Tekanan yang memisahkan permukaan ini timbul dengan sendirinya dalam arti tidak ada tekanan dari luar yang diberikan kepadanya. Untuk memperoleh unjuk kerja tinggi dari sistem turbin gas ini, maka adanya tegangan aksial dan radial pada poros akibat putaran serta kemampuan bantalan dalam menerima beban harus dianalisis lebih lanjut. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk memodelkan perbandingan tegangan aksial dan radial pada poros turbin dan juga untuk menganalisis distribusi tekanan dan tegangan geser pada *journal bearing* dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH).





Gambar 3. Konstruksi turbin gas dan kompresor yang terletak pada poros tunggal<sup>[3]</sup>

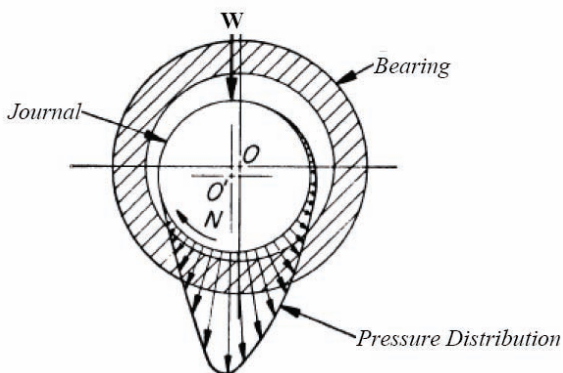
Gambar 4<sup>[3]</sup> memperlihatkan distribusi tekanan pelumas dalam celah sempit pada sebuah journal bearing. Persamaan *Reynolds* dapat diaplikasikan untuk menentukan distribusi tekanan dalam celah sempit bantalan, yaitu<sup>[5]</sup>:

$$\frac{d}{dx} \left( h^3 \frac{dp}{dx} \right) = 6 \mu u \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

dimana

- $\mu$  : viskositas
- $u$  : kecepatan dari pelat yang bergerak
- $p$  : tekanan
- $h$  : tinggi celah

Persamaan-persamaan tersebut diatas dapat dipecahkan dengan menggunakan MEH yaitu metode analisis numerik yang sangat bermanfaat untuk menyelesaikan permasalahan pada poros dan bantalan dalam instalasi sistem sekunder dari MSR.



Gambar 4. Distribusi tekanan dalam sebuah bantalan<sup>[3]</sup>

**HASIL DAN DISKUSI**

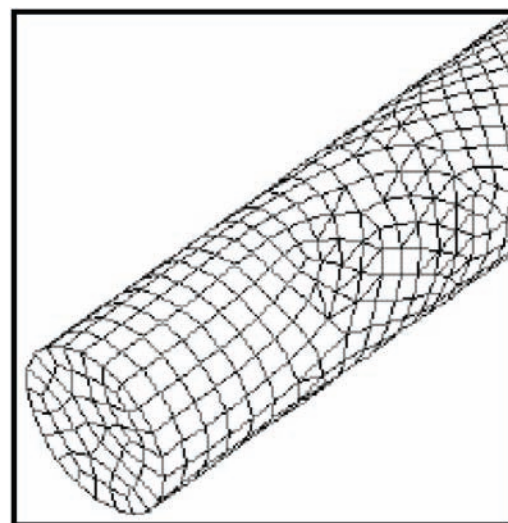
Analisis puntiran dari poros dengan menggunakan MEH dapat dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan torsi  $T$  berikut :

$$T = \frac{GJ}{L} \theta \quad (4)$$

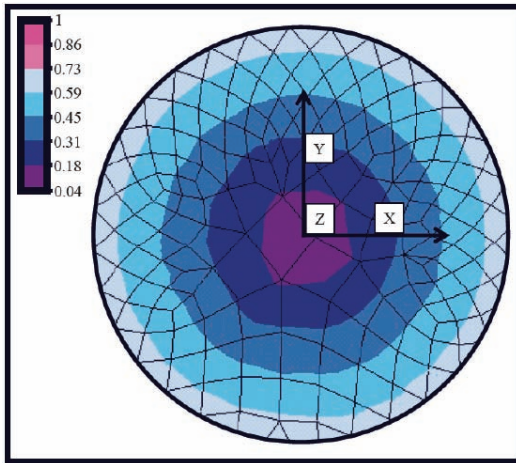
dengan modulus geser  $G$ , momen polar inersia  $J$ , sudut puntir  $\theta$ , dan panjang poros  $L$ . Persamaan (4) diatas dapat dipakai untuk menuliskan sebuah hubungan antara torsi dan puntiran dari poros yang berputar sehingga diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{GJ}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Dari persamaan (5), harga tegangan radial  $\tau$  dapat diperoleh dan dimasukkan kedalam persamaan (2), sedang harga tegangan aksial  $\sigma$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1). Gambar 5 menunjukkan pembagian elemen yang diaplikasikan pada poros pejal untuk meletakkan rotor turbin dan impeller kompresor. Gambar 6 menampilkan penampang poros dengan distribusi tegangan yang terjadi. Gambar 7 memperlihatkan hasil perhitungan untuk perbandingan tegangan aksial dan radial terhadap aspek rasio dari elemen.



Gambar 5. Pemodelan elemen yang digunakan untuk analisis MEH



Gambar 6. Pemodelan distribusi tegangan pada penampang poros

Untuk mendapatkan distribusi tekanan pada celah dalam bantalan, pertama-tama yang dilakukan adalah dengan membagi daerah celah tersebut kedalam beberapa elemen, dan masing-masing mempunyai dua titik. Pada sebuah elemen yang diberikan, distribusi tekanan yang sebenarnya  $p(x)$  yang terjadi dapat ditentukan dengan :

$$\bar{p}^{(e)}(x) = \sum_{i=1}^2 L_i(x) p_i \quad (6)$$

merupakan fungsi interpolasi linier untuk elemen  $k$  dengan titik-titik pada  $x_k$  dan  $x_{k+1}$ , dan  $p_i$  adalah nilai  $p$  yang belum diketahui nilainya pada setiap titik. Metode *Galerkin* disubstitusikan ke dalam persamaan (6) dengan cara menginterpolasikan fungsi  $L_i$  dan dengan mengintegrasikan elemen tersebut akan memberikan :

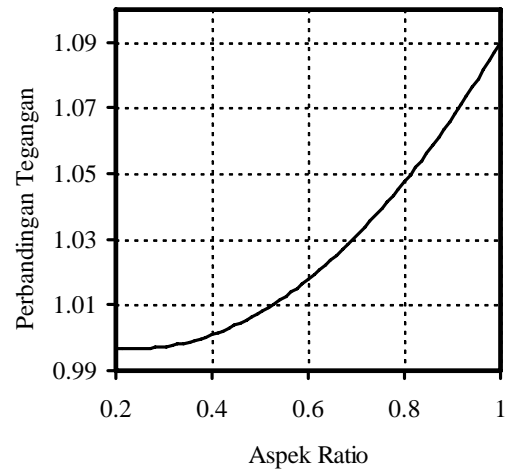
$$\int L_i \frac{d}{dx} \left( h^3 \frac{dp}{dx} \right) dx = 6 \int L_i \frac{dh}{dx} dx \quad (7)$$

Kemudian dengan mengintegrasikan sisi sebelah kiri dari persamaan (7) diatas, akan menghasilkan :

$$-\int \frac{dL_i}{dx} h^3 \frac{dp}{dx} dx + \left[ L_i h^3 \frac{dp}{dx} \right]_0^l = 6 \int L_i (l-h^*) dx \quad (8)$$

Bentuk kedua pada sisi sebelah kiri dari persamaan (8) dan dengan mensubstitusikan persamaan (6) kedalamnya akan memberikan persamaan berikut ini :

$$-\int \frac{dL_i}{dx} \frac{dL_j}{dx} h^3 p_j dx = 6 \int L_i (l-h^*) dx \quad (9)$$

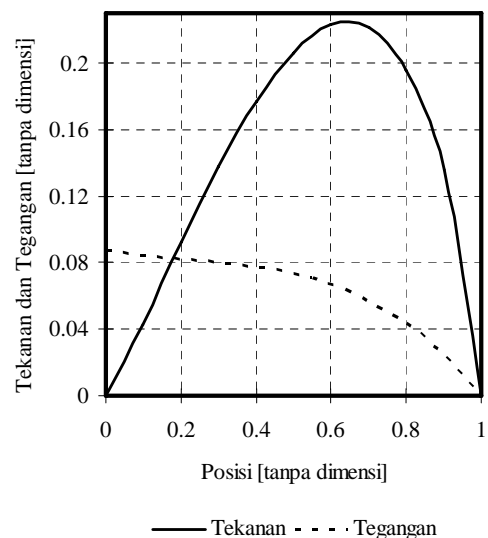


Gambar 7. Diagram pemodelan perbandingan tegangan versus aspek rasio

Dengan membuat persamaan matrik seperti berikut:

$$[K]^{(e)} \{p\}^{(e)} = \{F\}^{(e)} \quad (10)$$

Pengelompokan persamaan untuk elemen ini kedalam sebuah persamaan matrik global yang kemudian diselesaikan untuk memperoleh tekanan  $p$  dan tegangan geser  $\tau_g$  yang terjadi pada setiap posisi  $x$  dalam celah sempit dari *journal bearing*, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva pemodelan distribusi tekanan dan tegangan geser pada bantalan [6]

## KESIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat ditarik kesimpulan yaitu :

- Rasio antara tegangan aksial dan radial pada poros yang berputar akan meningkat dengan bertambahnya aspek rasio dari elemen yang dipakai.
- Distribusi tekanan dan tegangan dalam celah tipis antara dua pelat pada bantalan (*journal bearing*) dapat diprediksi. Tekanan maksimum terjadi pada posisi 0,7 dan tegangan yang terjadi akan menurun pada kondisi operasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ABRAMS, B., "A *Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*", U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, ([http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen\\_iv\\_roadmap.pdf](http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen_iv_roadmap.pdf)), 2002.
2. SUDADIYO, S., dkk., "Studi Awal Siklus Tertutup Gas Helium Temperatur Tinggi Pada Sistem Molten Salt Reactor", *Prosiding Seminar Teknologi PLTN*, PPEB-BATAN, 2008.
3. BOYCE, MP., "Gas Turbine Engineering Handbook", Edisi kedua, Butterworth-Heinemann, 2002.
4. REDDY, JN., "Introduction to the Finite Element Method", Edisi ketiga, McGraw-Hill, 2006.
5. GASKELL, PH., SUMMERS, JL., dan THOMPSON, HM., "The Finite Element Method for Fluid Flow Problems", School of Mechanical Engineering, The University of Leeds, UK, 2000.
6. SUDADIYO, S., "Assignment of Computational Fluid Dynamics", The University of Leeds, UK, 2000.