

## PERANCANGAN MEKANIK PENGGERAK BATANG KENDALI REAKTOR RISET

Sanda  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir  
Badan Tenaga Nuklir Nasional

### Abstrak

*PERANCANGAN MEKANIK PENGGERAK BATANG KENDALI REAKTOR RISET. Mekanik penggerak batang kendali reaktor riset merupakan salah satu komponen utama reaktor yang fungsinya menaik turunkan bahan bakar reaktor. Permasalahan yang ada saat ini untuk naik atau turunkan bahan bakar reaktor menggunakan dua buah motor penggerak. Untuk gerak keatas, motor bawah dimatikan, sebaliknya untuk gerak kebawah, motor atas dimatikan, sedangkan kondisi motor penggerak tersebut dalam kondisi hidup terus menerus tergantung posisi batang kendali reaktor dan tidak ada rem motor atau rem mekanik, hal ini dapat menimbulkan kondisi yang berbahaya bagi sistem batang kendali reaktor. Untuk itu perlu dirancang sistem mekanik penggerak batang kendali reaktor yang memenuhi syarat keselamatan sistem reaktor. Salah satu perancangannya yaitu menggunakan sistem transmisi gigi reduksi dengan reduksi 20. Gigi reduksi digerakan oleh servomotor yang mempunyai daya 24 watt dengan perantara kopling dan keluaran dari gigi reduksi dihubungkan dengan roda gigi pinion yang mampu menggerakkan gigi rack turun naik dengan kecepatan maksimum 0,067 m/s. Diharapkan batang kendali yang menggantung pada sistem transmisi mekanik tidak mengalami turun mendadak baik pada saat naik atau pada saat turun.*

*Kata kunci : Perancangan, batang kendali, gigi reduksi, pinion, rack.*

### Abstract

*Design of mechanic transmission of control rod research reactor. Mechanic transmission of control rod research reactor is reactor excellent component used to ascend and descend reactor fuel. The problem nowadays to ascend or descend reactor fuel is using two motors. To move ascend, low motor off, on the other hand to move descend motor off, while the motor is depend on position of reactor control rod and It's not motor break or mechanic break, this condition dangerous at reactor control rod system. There for It will designed mechanic moving reactor control rod can fulfil The condition of reactor safety. One or the orther of design is using reductin gear transmission system with 20 ratio reduction. The reduction gear is moved servometer 24 watt with coupling and output reduction gear connected pinion. It is moving the rack ascend and descend with maximum velocity 0,067 m/s. The expectation of control rod hang on mechanic transmission will not suddenly descend.*

*Key wrds : Design, control rod, reduction gear, pinion, rack.*

## 1. PENDAHULUAN

Batang kendali reaktor merupakan salah satu komponen reaktor yang berfungsi mengantarkan bahan bakar reaktor masuk ke dalam kolam atau keluar dari kolam. Gerak keluar masuk batang kendali di kolam reaktor digerakan oleh motor penggerak translasi. Pada instalasi yang telah ada selama ini, batang kendali digerakan oleh dua buah motor, satu motor untuk gerak ke atas dan satu yang lainnya untuk gerak ke bawah, secara teknis ketika batang kendali bergerak ke bawah, maka motor atas dimatikan dan motor bawah hidup terus, sebaliknya untuk batang kendali gerak ke atas, maka motor bawah dimatikan dan motor atas hidup terus dengan gerak kecepatan yang sudah ditetapkan sebesar 0,067 m/s. Dari dua masalah, yaitu penggerak batang kendali dengan dua buah motor dan kecepatan gerak batang kendali harus dipenuhi sebesar 0,067 m/s, maka perlu dilakukan perancangan terhadap sistem mekanik penggerak batang kendali reaktor. Hasil yang diharapkan, yaitu dihasilkannya suatu perhitungan penggerak batang kendali reaktor yang memenuhi persyaratan keselamatan kerja alat.

## 2. DASAR TEORI

Secara teknis penggerak batang kendali reaktor bisa menggunakan bermacam-macam cara, diantaranya adalah dengan sistem transmisi sling, transmisi batang ulir atau sistem roda gigi rack dan pinion. Dalam perancangan ini dipilih sistem roda gigi rack dan pinion, karena sistem ini dapat menghasilkan gerak translasi yang lembut dengan kecepatan yang rendah. Sistem ini terbagi atas beberapa komponen utama, yaitu motor penggerak, gigi reduksi, roda gigi lurus dan roda gigi rack.

Motor merupakan sumber tenaga yang menggerakkan gigi reduksi dengan perantara kopling, kemudian gigi reduksi dengan perantara roda gigi lurus menggerakkan gigi rack yang menyebabkan batang gigi rack dapat

bergerak ke atas atau ke bawah. Motor menggerakkan seluruh komponen hingga batang gigi rack dapat bergerak. Untuk itu dibutuhkan motor dengan tenaga (P) sebesar :

$$P = T.n \quad 1)$$

Dimana :

P = daya motor (watt)

T = momen puntir (Nm)

n = putaran motor (rpm)

Sedangkan daya motor yang bekerja pada sistem transmisi roda gigi adalah :

$$P = m.v \quad 2)$$

Dimana :

m = beban yang digerakan oleh motor (N)

v = kecepatan gerak translasi batang gigi rack (m/detik)

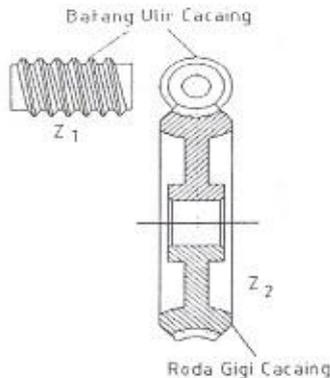
Untuk momen puntir (T) yang terjadi pada motor diperoleh dari persamaan berikut :

$$T = n.i \quad 3)$$

Dimana :

i = ratio gigi reduksi

Ratio gigi reduksi merupakan suatu alat yang digunakan untuk menurunkan putaran, sehingga putaran motor yang tinggi dapat menjadi lebih rendah, juga disamping putaran sistem mekanik dari gigi reduksi ini dipilih yang mempunyai kerja dapat menghasilkan gerakan tapi tidak terpengaruh oleh beban putar atau beban gaya berat yang dapat menyebabkan beban berat menggerakkan sistem gigi reduksi bergerak ke arah bawah secara otomatis, sehingga sistem kerjanya menjadi terkunci, ketika berhenti. Konstruksi transmisi ini biasanya menggunakan roda gigi cacing dan ulir cacing. Kerja dari roda gigi cacing cukup halus dan hampir tanpa bunyi dan memungkinkan perbandingan transmisi yang besar ( $i = 1 : 100$ ).



Gambar 1. Sistem transmisi roda gigi cacing dan batang ulir cacing

Perbandingan transmisi atau gigi dapat dinyatakan sebagai berikut :

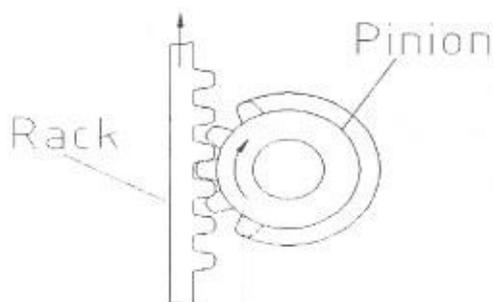
$$i = Z_2/Z_1 \quad 4)$$

dimana :

$Z_2$  = jumlah gigi pada roda gigi cacing

$Z_1$  = jumlah ulir cacing

Roda gigi merupakan alat penerus daya yang dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Keunggulan roda gigi dibandingkan dengan sabuk atau rantai, yaitu lebih ringkas, putaran lebih tinggi, tepat dan daya lebih besar, roda gigi bukan termasuk roda gesek, karena putaran yang dihasilkan bisa tepat, sedangkan roda gesek hanya meneruskan daya yang kecil dan putaran tidak tepat. Berikut ini sistem penggerak roda gigi lurus pinion dan batang roda gigi rack yang digunakan sebagai penggerak batang kendali reaktor.



Gambar 2. Roda Gigi Pinion dan Rack

Dalam perhitungan roda gigi lurus, pinion dinyatakan dari lingkaran jarak bagi yang merupakan lingkaran antara tinggi kepala gigi dengan kaki gigi yang berputar tanpa menimbulkan slip. Lingkaran jarak bagi (D) ditentukan :

$$D = m.z \quad 5)$$

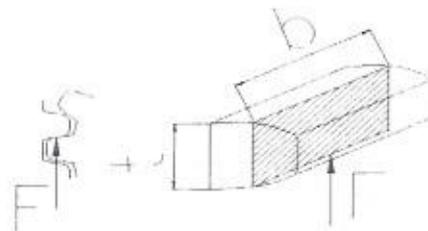
dimana :

D = diameter lingkaran jarak bagi (mm)

m = modul

Begitu juga halnya dengan roda gigi rack, yaitu batang bergigi yang dapat menghasilkan gerak dari putaran menjadi gerak translasi naik atau turun dengan ukuran gigi-gigi yang sama dengan roda gigi pinion.

Adapun gaya yang bekerja pada gigi-gigi tersebut, sebagaimana Gambar 3, dibawah.



Keterangan :

F : gaya yang bekerja pada gigi (kg)

t : tebal gigi (mm)

b : lebar roda gigi (mm)

Gambar 3. Gaya bekerja pada gigi roda gigi

Gaya F merupakan gaya dorong ke atas atau ke bawah, yang bekerja pada permukaan gigi ( $A = t \times b$ ) yang ditimbulkan akibat gerak pinion mengangkat rack yang terletak pada garis diameter lingkaran jarak bagi; karena gaya F bekerja dengan cara mengangkat atau menggeser gigi-gigi rack, maka akibat gerakan F tersebut dapat menimbulkan tegangan geser  $\sigma_g$ , yang besarnya dapat ditentukan, yaitu :

$$\sigma_g = F/A \quad 6)$$

dimana :

$\sigma_g$  = tegangan geser ( $\text{kg/mm}^2$ )

F = gaya yang bekerja menggeser gigi rack (kg)  
A = luas penampang gigi pada bagian lingkaran jarak bagi (mm<sup>2</sup>)

Tegangan geser yang terjadi pada gigi-gigi roda gigi ditentukan oleh tegangan tarik  $\sigma_t$  yang dikontrol dengan faktor keamanan ( $v$ ), sehingga dihasilkan

tegangan tarik ijin  $\sigma_t$ , yaitu

$$\sigma_t = \frac{\sigma_t}{v} \quad (7)$$

Tegangan geser yang diijinkan harganya dibawah tegangan tarik yang diijinkan, menurut Poisson<sup>3</sup>, yaitu :

$$\tau_x = \frac{u}{u+1} \sigma_t \quad (8)$$

Untuk bahan baja, harga  $u = 3 - 4$ . Sedangkan kekuatan tarik ( $\sigma_t$ )<sup>1</sup> bahan baja karbon untuk konstruksi mesin dengan kandungan karbon 0,27 - 0,33% (S30C) sebesar 48 kg/mm<sup>2</sup>.

Adanya sistem transmisi dari putaran menjadi gerak lurus untuk gerakan antara pinion dengan rack dapat menghasilkan kecepatan gerak translasi, sebagai berikut :

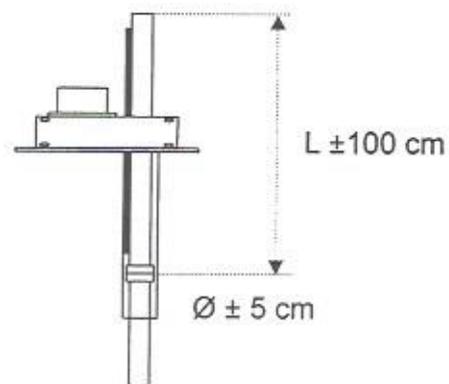
$$V = \frac{\pi D n}{i} \quad (9)$$

Dimana :

V = kecepatan gerak translasi rack (m/s)  
n = putaran motor (rpm)

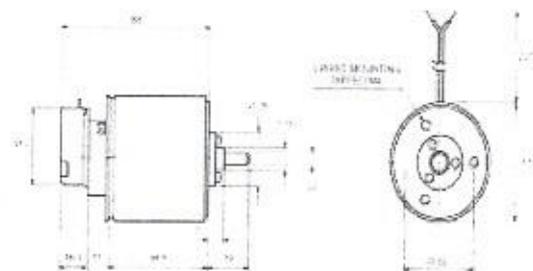
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data lapangan yang diperoleh, terdiri dari gambar dan spesifikasi teknis, yaitu mekanik penggerak batang kendali dan servomotor, diantaranya :  
Mekanik penggerak batang kendali terbuat dari bahan pipa baja karbon untuk konstruksi mesin dengan panjang 1000 mm dan diameter 50 mm. Pada batang kendali tersebut ditempelkan batang gigi rack juga terbuat dari bahan baja karbon untuk konstruksi mesin. Konstruksinya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanik penggerak batang kendali

Motor yang telah tersedia adalah servomotor (motor DC), konstruksinya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Servomotor DC penggerak batang kendali yang tersedia.

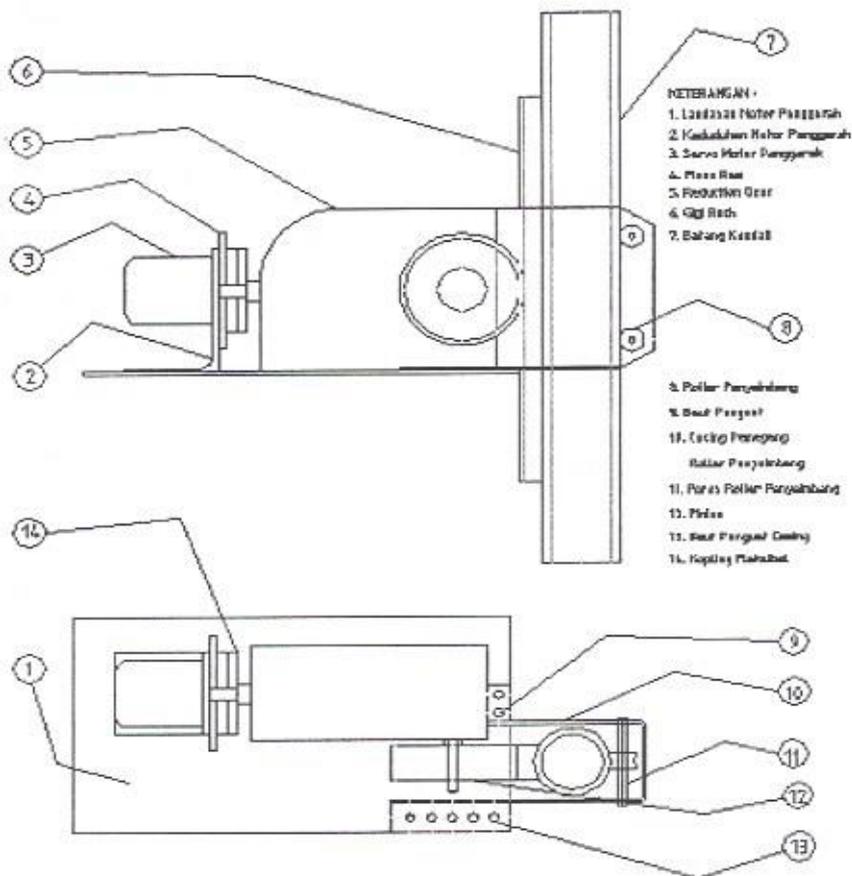
Spesifikasi teknis yang dipersyaratkan yaitu :

Kecepatan gerak batang kendali (V) = 0,067 m/s

Sedangkan spek servomotor terdiri atas :  
putaran motor (n) = 1600 rpm

Momen puntir terhadap beban = 12 Ncm  
Daya motor = 24 watt.

Adapun hasil perancangan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Sistem mekanik penggerak batang kendali reactor

Gambar diatas menunjukkan suatu prinsip kerja mekanik penggerak batang kendali, yaitu :

Servomotor menggerakkan gigi reduksi dengan perantara kopling fleksibel, pada poros keluar gigi reduksi dipasang roda gigi lurus, roda gigi lurus ini dihubungkan langsung dengan batang gigi rack, sehingga ketika roda gigi lurus berputar searah jarum jam, maka batang gigi rack akan bergerak ke bawah, sebaliknya bila roda gigi lurus berputar berlawanan arah jarum jam, maka batang gigi rack akan bergerak ke atas. Dari gambar diatas juga dihasilkan suatu perhitungan, diantaranya adalah Daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan beban 20 kg, putaran 1600 rpm dan momen puntir nominal 12 kgcm adalah 20,096 watt, momen puntir yang timbul pada motor sebesar 2,4 Nm dan

daya yang bekerja pada motor 12,56 Nm/dt.

Untuk sistem penggerak, yaitu roda gigi lurus, diperoleh data-data banyaknya gigi  $Z = 30$  gigi dengan modul 0,5 dan gigi reduksi ditentukan  $i = 20$ , maka dihasilkan dimensi dari roda gigi sebagai berikut :

Tabel 1. Dimensi roda gigi lurus

No.	Nama komponen gigi	Besar ukuran (mm)
1.	Diameter lingkaran jarak bagi (D)	15
2.	Jarak antar gigi (t)	1,5
3.	Diameter lingkaran kepala roda gigi (Dk)	16
4.	Tinggi kepala gigi (hk)	0,5
5.	Tinggi kaki gigi (hv)	0,625

Sedangkan gigi-gigi pada batang gigi rack sebagai berikut :

Tabel 2. Dimensi gigi rack.

No.	Nama komponen gigi rack	Besar ukuran (mm)
1.	Tinggi gigi (H)	1,125
2.	Tinggi kepala gigi (hk)	0,5
3.	Tinggi kaki gigi (hv)	0,625
4.	Panjang batang rack	800

Kemudian besar tegangan geser  $\sigma_s$  yang terjadi pada gigi-gigi roda gigi = 2,12 kg/mm<sup>2</sup>. Sebagai kontrol keamanan bahan yang digunakan bahan baja karbon untuk konstruksi mesin dengan kandungan karbon 0,27 – 0,33% (S30C) sebesar 48 kg/mm<sup>2</sup>, agar bahan roda gigi tersebut dinyatakan aman dari tegangan geser yang terjadi, diperlukan tegangan tarik ijin

dari bahan (dari tabel) diperoleh  $\sigma_t = 16$  kg/mm<sup>2</sup>. Dalam pemilihan bahan ini, mengingat beban yang digerakan relative kecil, sebenarnya bahan bisa menggunakan dari Alumunium, namun bahan Alumunium memiliki kelemahan, sifat Alumunium adalah setelah sekian kali kerja permukaannya akan bengkak, karena Alumunium tidak tahan terhadap geseran atau gesekan, bahan Alumunium ini bisa juga dipakai, bila bekerja tanpa terima beban. Adapun kecepatan luncur batang gigi rack dihasilkan  $v = 0,0628$  m/dt.

#### 4. KESIMPULAN

1. Rancangan gerak luncur batang gigi rack kendali reaktor telah dirancang sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan, yaitu hasil perhitungan ( $v = 0,0628$  m/detik) telah menyamai harga

yang dipersyaratkan  $v = 0,067$  m/detik.

2. Penggerak batang rack dari dua motor menjadi satu. Penggerak satu motor dilengkapi gigi reduksi dengan transmisi roda gigi lurus dan batang cacing yang dapat mencegah terjadinya putaran balik, karena batang cacing tidak bisa diputar balik oleh roda gigi lurus, sehingga kekhawatiran tidak akan terjadi putaran balik pada beban. Kondisi ini akan lebih aman dibandingkan dengan kondisi pemakaian motor yang awal.

3. Servomotor yang mempunyai daya 24 watt, putaran 1600 rpm dan harus menggerakkan beban naik turun seberat 20 kg, ternyata berdasarkan hasil perhitungan diperoleh daya yang dibutuhkan motor sebesar 20,096 watt.

Ini menunjukkan bahwa kapasitas Servomotor lebih besar dari daya yang dibutuhkan, sehingga servomotor dijamin dapat bekerja dengan baik mengangkat batang kendali reaktor.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. SULARSO, KIYOKATSU SUGA, : "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1997
2. HERMANN JUTZ, ADUARD SCHARKUS, : "Westermann Table for The Metal Trade", Wiley Eastern Limited, India, 1976.
3. HANOTO DKK, : "Ilmu Kekuatan Bahan", Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, PEDC bandung, 1983.
4. S. N. TRIKHA, : "Machine Design Exercises", Khana Publishers, Delhi, 1963