

## **PEMILIHAN *LINEAR MOTION GUIDE* AKSIS Y UNTUK *VERTICAL MACHINING CENTER* PINDAD-FANUC MC 07-PF**

Rachmanto Hadiputranto\*

### **Abstraksi**

*Linear Motion Guide (LM Guide)* jenis gelinding adalah salah satu perangkat mekanik untuk mesin perkakas NC yang berfungsi sebagai media peluncur yang menggunakan bola baja bersirkulasi sebagai komponen penunpu utamanya. Akibat dari gerakan gelinding (*rolling*) dari bola-bola baja tersebut, maka akan menghasilkan koefisien gesek yang sangat kecil, kelonggaran (*backlash*) yang hampir nol dan momen inersia yang sangat kecil. Sehingga salah satu kebutuhan mesin perkakas dengan tingkat pemosisian yang tinggi dan akselerasi gerak translasi linier yang tinggi dapat terpenuhi oleh *LM Guide* jenis ini.

Penentuan jenis *LM Guide* utamanya akan dipengaruhi oleh beban yang ditumpu, meliputi berat dari meja mesin (*table*) beserta perangkat pendukungnya dan akibat gaya pemotongan. Penjumlahan dari berat dan gaya akan mengakibatkan momen kedalam 3 arah yaitu *pitching*, *rolling* dan *yawing*. Selain itu diperhitungkan juga mengenai tingkat akselerasi yang terjadi dan umur nominal dalam kilometer jarak tempuh.

**Kata kunci:** *Linear Motion Guide, Akselerasi, Umur Nominal*

### **PENDAHULUAN**

Secara garis besar, pembahasan pada naskah ilmiah ini dibagi menjadi 5 bagian utama, yaitu: perhitungan momen inersia, analisis siklus kerja motor aksis Y, perhitungan beban, perhitungan momen dan yang terakhir adalah penentuan spesifikasi *LM Guide* beserta umur nominalnya.

Dasar perhitungan dan pemilihan *LM Guide* aksis Y ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan *LM Guide* aksis X dan Z. *LM Guide* yang digunakan untuk *vertical machining center* ini bermerk THK.

### **KAJIAN PUSTAKA**

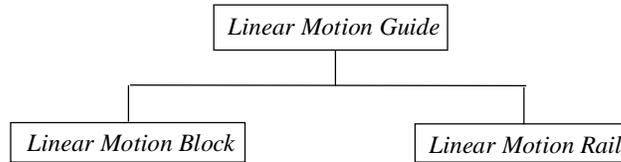
#### ***Linear Motion Guide***

*Linear Motion Guide* merupakan salah satu komponen yang berfungsi untuk menunpu dan memandu suatu bagian mesin (misalnya eretan / *saddle*) yang bergerak translasi bolak bailik, baik linier atau sirkular. *LM Guide* terdiri dari dua bagian utama, yaitu: *Linear Motion Block (LM Block)* dan *Linear Motion Rail (LM Rail)*.

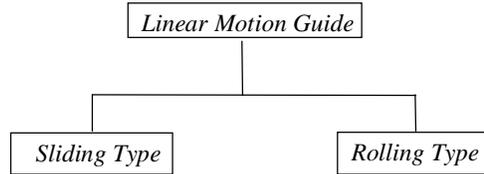
Didalam aplikasinya pada mesin perkakas, bentuk *LM Guide* ada beberapa macam. Namun bila ditinjau dari sifat gerakannya, terdiri dari dua jenis, yaitu: bergerak dengan geseran (*sliding type*) dan bergerak dengan menggelinding (*rolling type*). Dalam konstruksinya dapat dipasang sejajar sumbu X, Y atau Z. Berikut ini adalah pembagian *LM Guide* berdasarkan bagian utama dan sifat gerakannya secara skematik.

---

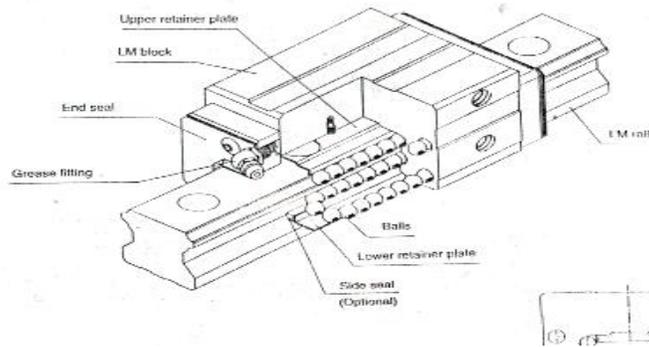
\* Dosen Jurusan Teknik Mesin S-1STT YBS Internasional Bandung



Gambar 1: Skema LM Guide Berdasarkan Komponen Utamanya



Gambar 2: Skema LM Guide Berdasarkan Tipenya



Gambar 3: LM Guide Tipe Gelinding Merk THK Dengan Komponen Utamanya [3]

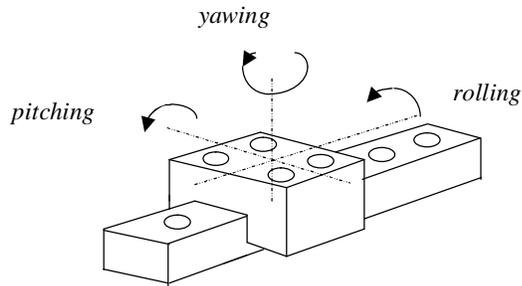
## METODOLOGI

Ada beberapa hal yang penting yang dijadikan dasar untuk melakukan pemilihan *LM Guide* aksis Y, yaitu:

1. Perhitungan momen inersia mekanisme translasi linier aksis Y. Momen inersia mekanisme ( $J_{total}$ ) ini merupakan penjumlahan momen inersia dari: benda kerja + *ball screw* + motor aksis. Sehingga  $J_{total} = J_{benda\ kerja} + J_{ball\ screw} + J_{motor\ aksis}$  (N.m.s<sup>2</sup>)  
 Data hasil perhitungan momen inersia ini diperlukan untuk menentukan berapa tingkat akselerasi yang terjadi pada saat *vertical machining center* ini melakukan gerak cepat pemosisian (*positioning rapid traverse*). Gerak cepat pemosisian ini dibatasi dan tidak lebih dari 2 kali gaya gravitasi. Semakin cepat gerak pemosisiannya maka semakin tinggi tingkat akselerasinya, sehingga menimbulkan getaran yang tinggi. Di sisi lain struktur mesin mempunyai kemampuan yang terbatas untuk meredam getaran tersebut.
2. Analisis momen dan beban. Momen yang ditimbulkan akan ditumpu oleh *LM Guide* dan akan menuju ke 3 arah, yaitu *pitching*, *rolling* dan *yawing*. Harga ke-3 arah momen aktual tersebut tidak boleh melebihi harga *static permissible moment*-nya pada katalog. Sedangkan

perhitungan beban diterapkan pada setiap blok yang berjumlah 4 buah. Beban pada tiap blok akan bervariasi pada saat mengalami akselerasi atau deselerasi dan dapat berupa beban tekan atau tarik.

3.

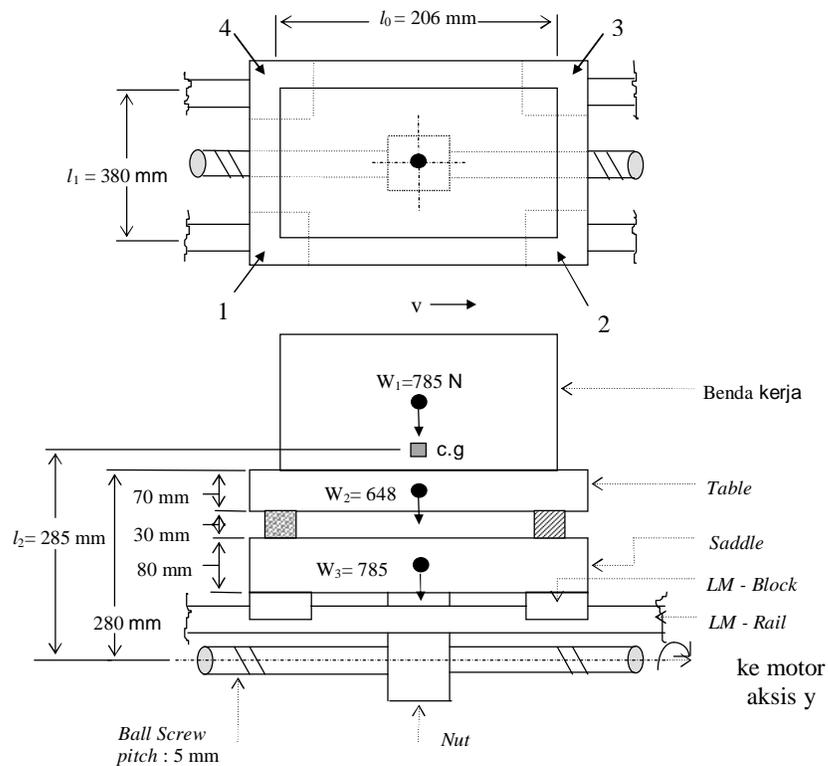


Gambar 4: Momen Dalam 3 Arah

3. Penentuan spesifikasi dan penentuan umur nominal. Penentuan spesifikasi ditentukan oleh besarnya momen dalam 3 arah dan umur nominal akan dipengaruhi oleh beban rata-rata yang ditumpu oleh setiap bloknya.

**PEMBAHASAN**

Gambar berikut ini adalah susunan perangkat mekanik aksis Y dimana benda kerja diletakkan pada *table* mesin dan ditumpu oleh *LM Guide* sebagai komponen peluncurnya.



Gambar 4: Perangkat Mekanik Aksis Y

Data pada Tabel 1 berikut ini merupakan data awal yang didapatkan dari spesifikasi mesin:

Tabel 1: Data Perangkat Mekanik Aksis Y <sup>[4]</sup>

No	Komponen	Notasi / Besaran	Harga
1	Benda kerja	$m_1 (W_1)$ / massa (berat)	80 kg (785 N)
2	Table mesin	$m_2 (W_2)$ / massa (berat)	66 kg (648 N)
3	Saddle mesin	$m_3 (W_3)$ / massa (berat)	80 kg (785 N)
4	Ball screw	$\gamma$ / berat jenis	$7,85 \times 10^{-3}$ kgf/cm <sup>3</sup>
		L / panjang efektif	102 cm
		$\emptyset$ / diameter nominal	2,5 cm
5	Motor aksis Y - OS Fanuc	$J_3$ / momen inersia	$2,51 \times 10^{-3}$ N.m.s <sup>2</sup>
		T / torsi	26 N.m
6	Travel aksis Y	s / lintasan	230 mm
7	Rapid traverse Y	v / kecepatan	24 m/min (400mm/s)
8	Gaya potong operasi 10 min	Fz / gaya potong	4700 N
		Fy / gaya potong	2363 N
		Fx / gaya potong	10240 N
9	Gaya potong operasi kontinu	Fz / gaya potong	1364 N
		Fy / gaya potong	686 N
		Fx / gaya potong	2972 N

#### A. Perhitungan Momen Inersia

Perhitungan momen inersia total dapat dihitung sebagai berikut:

- Momen Inersia (J)

1. Benda kerja + Table + Saddle :

$$J_1 = \frac{(80 \text{ kg} + 66 \text{ kg} + 80 \text{ kg}) \cdot (0,005 \text{ m})^2}{(2,p)^2} = 1,4 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 = 1,4 \times 10^{-4} \text{ N.m.s}^2$$

2. Ball Screw :

$$J_2 = p \frac{(7,85 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3) \cdot (102 \text{ cm}) \cdot (2,5 \text{ cm})^4}{32 \cdot (981 \text{ cm/s}^2)} = 0,0037 \text{ kgf.cm.s}^2 = 0,00037 \text{ N.m.s}^2$$

3. Motor aksis Y tipe OS Fanuc :

$$J_3 = 0,0020 \text{ N.m.s}^2$$

$$\text{Sehingga } J_{\text{total}} = J_1 + J_2 + J_3 = (1,4 \times 10^{-4} + 0,00037 + 0,0020) \text{ N.m.s}^2 = 2,51 \times 10^{-3} \text{ N.m.s}^2$$

#### B. Analisis Siklus Kerja Motor Aksis Y

1. Kecepatan sudut ball screw dapat diperoleh dengan perhitungan sbb.:

$$w = \frac{2,p \cdot (400 \text{ mm/s})}{5 \text{ mm}} = 502,4 \text{ rad/s}$$

2. Bila diasumsikan waktu akselerasi = waktu deselerasi ( $t = t_3$ ), maka harga  $t_1$  dan  $t_3$  dapat dihitung sbb.:

$$t_1 = t_3 = \frac{(2,51 \times 10^{-3} \text{ N.m.s}^2) \cdot 502,4 \text{ rad/s}}{26 \text{ N.m}} = 0,048 \text{ s}$$

3. Akselerasi = deselerasi:  $a_1 = a_3 = \frac{400 \text{ mm/s}}{0,048 \text{ s}} = 8333,3 \text{ mm/s}^2$

4. Lintasan saat akselerasi = lintasan saat deselerasi:

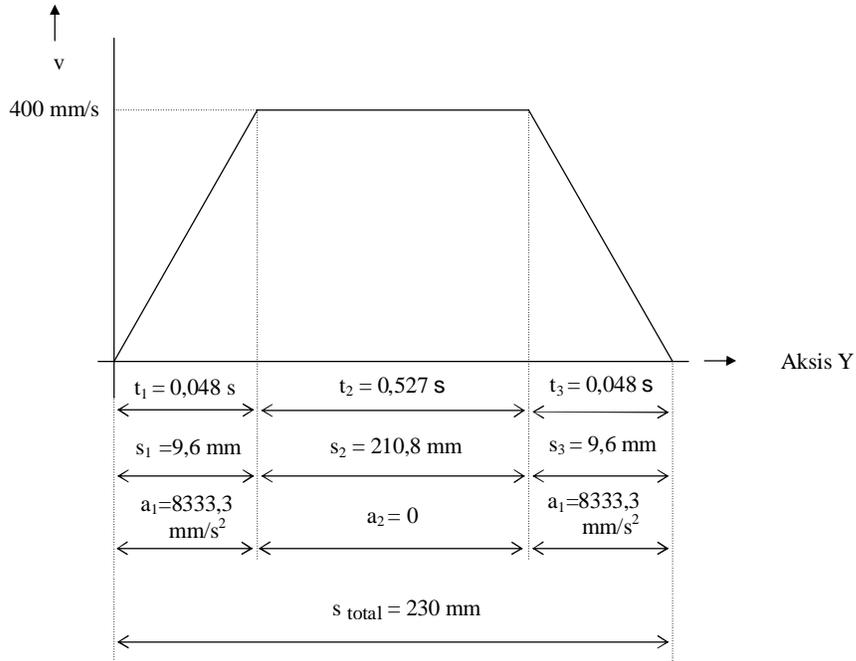
$$s_1 = s_3 = v_0 \cdot t_1 + 1/2 \cdot a \cdot t_1^2 = 0 + 1/2 \cdot (8333,3 \text{ mm/s}^2) \cdot (0,048 \text{ s})^2 = 9,6 \text{ mm}$$

$$s_{\text{total}} = (v_1 \cdot t_1 + 1/2 \cdot a_1 \cdot t_1^2) + (v_2 \cdot t_2 + 1/2 \cdot a_2 \cdot t_2^2) + (v_3 \cdot t_3 + 1/2 \cdot a_3 \cdot t_3^2)$$

$$230 \text{ mm} = 9,6 \text{ mm} + (400 \text{ mm/s} \cdot t_2 + 0) + 9,6 \text{ mm}$$

$$t_2 = (230 \text{ mm} - 19,2 \text{ mm}) / (400 \text{ mm/s}) = 0,527 \text{ s}$$

Sehingga berdasarkan perhitungan di atas, dapat digambarkan siklus kerja untuk motor aksis Y sbb.:



Gambar 5: Siklus Kerja Motor Aksis Y

### C. Perhitungan Beban

Perhitungan beban dilakukan pada 3 kondisi, yaitu pada saat kecepatan konstan, akselerasi dan deselerasi. Sedangkan lokasi pembebanan ditetapkan pada tumpuan 1, 2, 3 dan 4 sesuai dengan jumlah tumpuan (blok) sebanyak 4 buah.

1. Beban tiap *LM Block* saat kecepatan konstan ( $P_n$ ):

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{(785 + 648 + 785)}{4} = 545,5 \text{ N (tarik)}$$

2. Beban tiap *LM Block* saat akselerasi ( $P_{a_n}$ ):

$$P_{a_1} = P_{a_4} = 545,5 + \left( \frac{2218}{9,81} \right) \times \left( \frac{0,4}{0,048} \right) \times \left( \frac{0,285}{2,0,206} \right) = 1849 \text{ N (tarik)}$$

$$P_{a_1} = P_{a_4} = 545,5 - \left( \frac{2218}{9,81} \right) \times \left( \frac{0,4}{0,048} \right) \times \left( \frac{0,285}{2,0,206} \right) = -758 \text{ N (tekan)}$$

3. Beban tiap *LM Block* saat deselerasi ( $Pd_n$ ):

$$Pd_1 = Pd_4 = 545,5 - \left( \frac{2218}{9,81} \right) \times \left( \frac{0,4}{0,048} \right) \times \left( \frac{0,285}{2,0,206} \right) = -758 \text{ N (tekan)}$$

$$Pd_2 = Pd_3 = 545,5 + \left( \frac{2218}{9,81} \right) \times \left( \frac{0,4}{0,048} \right) \times \left( \frac{0,285}{2,0,206} \right) = 1849 \text{ N (tarik)}$$

4. Beban Rata-rata / *Mean Load* ( $Pm_n$ ):

$$Pm_1 = \sqrt[3]{\frac{(1849^3 \cdot 9,6) + (545,5^3 \cdot 210,8) + (-758^3 \cdot 9,6)}{230}} = 733 \text{ N (tarik)}$$

$$Pm_2 = \sqrt[3]{\frac{(-758^3 \cdot 9,6) + (545,5^3 \cdot 210,8) + (1849^3 \cdot 9,6)}{230}} = 733 \text{ N (tarik)}$$

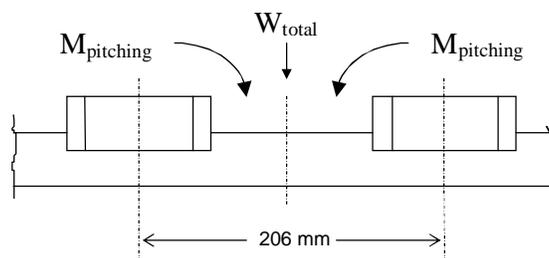
$$Pm_3 = \sqrt[3]{\frac{(-758^3 \cdot 9,6) + (545,5^3 \cdot 210,8) + (1849^3 \cdot 9,6)}{230}} = 733 \text{ N (tarik)}$$

$$Pm_4 = \sqrt[3]{\frac{(1849^3 \cdot 9,6) + (545,5^3 \cdot 210,8) + (-758^3 \cdot 9,6)}{230}} = 733 \text{ N (tarik)}$$

#### D. Perhitungan Momen

Ada 2 kondisi saat pemotongan berlangsung, yaitu pemotongan kontinu dimana pemotongan berlangsung secara optimal dengan konsumsi daya motor spindel sebesar 1,1 kW. Kondisi kedua adalah pemotongan maksimum (*overloaded cutting*) sehingga memerlukan konsumsi daya motor spindel sebesar 3,7 kW. Pada kondisi ini motor spindel hanya akan bekerja selama 10 menit saja dengan tujuan untuk mencegah terbakarnya motor spindel.

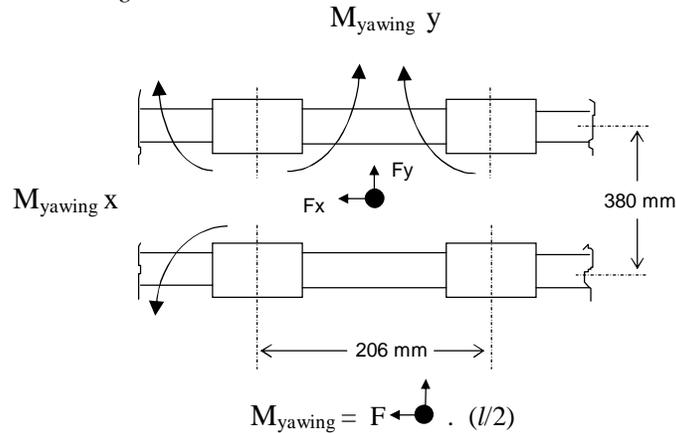
1. Momen Arah *Pitching*:



$$M_{pitching} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + F_z}{\frac{l}{2}}$$

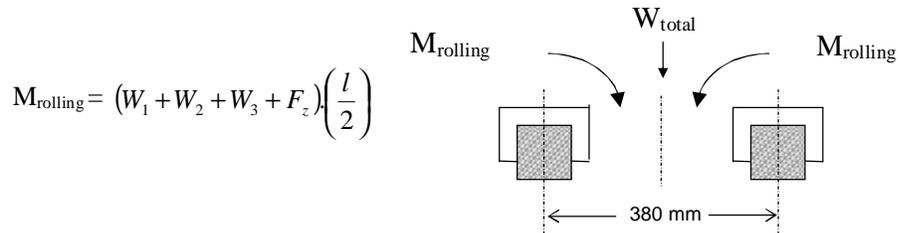
Operasi 10 menit :	Operasi Kontinu :
$M_{pitching} = (785 + 648 + 785 + 4700)N \cdot \left( \frac{0,206}{2} \right) m$ $= 0,712 \text{ kN.m}$	$M_{pitching} = (785 + 648 + 785 + 1364)N \cdot \left( \frac{0,206}{2} \right) m$ $= 0,369 \text{ kN.m}$

2. Momen Arah *Yawing*:



Operasi 10 menit :	Operasi Kontinu :
Akibat $F_y$ :	Akibat $F_y$ :
$M_{yawing} = 2363 \text{ N} \cdot \frac{0,206}{2} \text{ m}$ $= 0,243 \text{ kN.m}$	$M_{yawing} = 686 \text{ N} \cdot \frac{0,206}{2} \text{ m}$ $= 0,070 \text{ kN.m}$
Akibat $F_x$ :	Akibat $F_x$ :
$M_{yawing} = 10240 \text{ N} \cdot \frac{0,380}{2} \text{ m}$ $= 1,945 \text{ kN.m}$	$M_{yawing} = 2972 \text{ N} \cdot \frac{0,380}{2} \text{ m}$ $= 0,564 \text{ kN.m}$

3. M Arah *Rolling*:



Operasi 10 menit	Operasi Kontinu
$M_{rolling} = (785 + 648 + 785 + 4700) \text{ N} \cdot \frac{0,380}{2} \text{ m}$ $= 1,30 \text{ kN.m}$	$M_{rolling} = (785 + 648 + 785 + 1364) \text{ N} \cdot \frac{0,380}{2} \text{ m}$ $= 0,680 \text{ kN.m}$

**E. Penentuan Spesifikasi dan Perhitungan Umur Nominal**

Penentuan spesifikasi *LM Guide* dapat ditentukan berdasarkan katalog, utamanya dari momen aktual yang terjadi. Pada prinsipnya momen aktual yang terjadi tidak boleh melebihi *static permissible moment*-nya. Selain itu diperhatikan juga arah pembebanan, dimana arah pembebanan yang terjadi didominasi beban radial. Oleh sebab itu tipe *LM Guide* aksis Y yang paling proporsional dan aman untuk *vertical machining center* ini adalah HSR 35 LB, dengan data teknis seperti pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Perbandingan Momen Aktual Dengan *Static Permissible Moment*

Momen	10 menit	Kontinu	<i>Static Permissible Moment</i> HSR 35 LB <sup>[5]</sup>
<i>Pitching</i>	0,712 kN.m	0,369 kN.m	5,6 kN.m
<i>Yawing</i>	1,945 kN.m	0,564 kN.m	5,6 kN.m
<i>Rolling</i>	1,30 kN.m	0,689 kN.m	1,4 kN.m

Dengan demikian umur nominal *LM Guide* tipe HSR 35 LB dapat ditentukan sebagai berikut:

$$L_n = \left[ \frac{52.000}{2 \times 733} \right]^3 \times 50 = 2,23 \times 10^6 \text{ km}$$

dengan: C = 52.000 N (faktor beban dinamik)

$f_w = 2$  (faktor koreksi beban untuk mengantisipasi vibrasi dan impak saat meluncur dengan kecepatan  $15 < v \leq 60$  m/min)

$P_{m1} \sim P_{m4} = 733$  N (beban rata-rata pada blok ke-1 sampai dengan blok ke-4).

## SIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa *LM Guide* tipe HSR 35 LB dengan merk THK sudah cukup aman dan proporsional untuk jenis *Vertical Machining Center* Pindad-Fanuc MC 07 PF. Indikasinya adalah momen pada pemotongan maksimum tidak melebihi *static permissible moment*-nya dan umur nominalnya adalah  $2,23 \times 10^6$  km dengan gerakan translasi linier bolak-balik (*reciprocating*).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ableson and Pateman., *Metal Working*, Mc. Graw Hill Inc.
2. ... *Linear Motion System*, Catalog No. 75-IBE-2, THK Co., LTD Tokyo Japan.
3. ... *Linear Motion System*, Catalog No. 200-1-AE-2, THK Co., LTD Tokyo Japan.
4. ... *Parts Manual*, Fanuc Tape Drill, Mate Jr, Model T.

## PERNYATAAN

Naskah ilmiah yang berjudul *Pemilihan Linear Motion Guide Aksis Y Untuk Vertical Machining Center PINDAD-FANUC MC 07-PF* adalah hasil penelitian di PT Pindad Bandung pada Divisi Industri dan Jasa selama proyek pengembangan mesin perkakas CNC.

Naskah ilmiah ini bukan merupakan hasil jiplakan dan belum pernah dipublikasikan pada jurnal ilmiah manapun.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Bandung, 17 Agustus 2007

Ditulis oleh:

Rachmanto Hadiputranto

NIDN : 0407126903

Dosen / Sekretaris Jurusan Teknik Mesin S-1

STT YBS Internasional Bandung

Jl. Cikutra No. 219-225

Bandung 40124

Telp. 022-7275061

Fax. 022-7104403

Email : [rachmanto\\_hadiputranto@yahoo.com](mailto:rachmanto_hadiputranto@yahoo.com)