



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE  
PJ-01**

**PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA : DUTA NARENDRATAMA**  
**NIM : 0910630050 - 63**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK TENAGA LISTRIK**  
**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS GAYA TAHAN TRANSLATOR MOTOR LINIER  
PADA SUATU ELEVATOR**

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Wijono, M.T., Ph.D.**  
**NIP. 19621111 198903 1 003**

**Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.**  
**NIP. 19680122 199512 2 001**

# **ANALISIS GAYA TAHAN TRANSLATOR MOTOR LINIER PADA SUATU ELEVATOR**

**SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:  
**DUTA NARENDRATAMA**  
**NIM. 0910630050 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

# ANALISIS GAYA TAHAN TRANSLATOR MOTOR LINIER PADA SUATU ELEVATOR

Duta Narendratama<sup>1</sup>, Ir. Wijono, M.T., Ph.D.<sup>2</sup>, Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [duta\\_13@yahoo.com](mailto:duta_13@yahoo.com)

**Abstrak** - Motor linier merupakan salah satu jenis mesin elektrik yang bekerja dengan menghasilkan gerak linier. Pada perkembangannya penggunaan motor linier mulai dikenal dan digunakan pada beberapa aplikasi industri dan angkutan masal. Gerak yang dihasilkan motor linier juga digunakan pada aplikasi *ropeless elevator*. Elevator jenis ini tidak lagi bergantung pada konversi gerak putar menjadi gerak linier. Hal ini berakibat pada peningkatan efisiensi dan keandalan elevator.

Kebanyakan motor linier digunakan pada aplikasi gerak linier yang horizontal. Oleh sebab itu, penggunaan pada gerak vertikal harus diperhatikan ketahanannya. Hal itu dikarenakan ketika elevator berhenti harus mampu menahan berat penumpang yang sudah naik maupun penumpang baru. Untuk itulah, penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini, akan diambil motor linier jenis *permanent magnet linear synchronous motor (PMLSM)* dengan coil berada pada bagian stator. Linier motor jenis ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan gaya yang besar serta bagian translator memiliki berat yang ringan.

Dari penelitian ini diketahui karakteristik motor linier, yaitu hubungan arus dari sumber yang diterapkan pada elevator motor linier adalah berbanding lurus terhadap beban yang mampu ditahan oleh motor linier dalam keadaan diam atau berhenti.

**Kata kunci:** motor linier, *ropeless elevator*, PMLSM

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, motor linier mulai dikenal oleh masyarakat. Bahkan, digunakan untuk aplikasi tertentu, seperti penggerak pada alat transportasi massal. Begitu juga dalam dunia industri, motor linier banyak menggantikan peranan motor putar. Hal itu disebabkan, pada dekade sebelumnya, banyak industri yang menggunakan gerak linier yang diperoleh dari konversi gerak motor putar. Begitu juga, penggunaan motor linier sebagai

penggerak *ropeless elevator*. Elevator jenis itu tidak menggunakan tali baja sebagai penahan berat. Peranan tali baja digantikan oleh medan magnet yang mampu menahan berat pada aktivitas gerak naik dan turun.

Hal ini, setelah ditemukannya permasalahan pada elevator motor linier utamanya pada konversi dari gerak putar menjadi gerak linier. Digunakannya tali baja dan *gear box unit* sebagai alat konversi gerak menyebabkan penggunaan elevator dengan motor putar sebagai penggeraknya mengalami masalah, utamanya pada gedung-gedung dengan ketinggian di atas 200 meter. Permasalahan itu karena konversi gerak putar menjadi gerak linier memiliki gangguan yang disebabkan oleh celah antarroda gigi dan efek histeresis. Ditambah lagi, osilasi tali baja menyebabkan terjadinya slip gesekan saat motor mulai berputar sehingga menimbulkan suatu keterlambatan pada sistem mekanik.

Untuk mengatasi hal tersebut, motor linier cocok sebagai penggerak vertikal pada gedung yang memiliki ketinggian di atas 200 m. Oleh karena itu, gerak pada motor linier yang dipasang pada posisi vertikal harus betul-betul diperhatikan, utamanya daya tahan elevator dalam menahan beban merupakan salah satu karakteristik dasar yang perlu dicermati. Karakteristik dasar itu, merupakan syarat awal yang harus diteliti karena menyangkut kenyamanan dan keselamatan barang dan nyawa penumpangnya. Berdasarkan hal itu, perlu dilakukan penelitian terhadap gaya tahan translator motor linier.

### 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah hubungan beban yang ditahan oleh motor linier dengan arus dari sumber.
2. Berapakah besar batas maksimal beban yang mampu ditahan oleh model elevator yang menggunakan PMLSM.

3. Apakah motor linier (PMLSM) bisa menahan beban pada saat elevator berhenti.

### 1.3 Batasan Masalah

1. *Modeling* yang dilakukan tidak membuat *modeling* dengan ketinggian yang mencapai ratusan meter dan tidak sebesar aslinya, tetapi hanya terdiri atas dua lantai karena studi yang dilakukan difokuskan saat *car* pada posisi diam menahan beban.
2. Tidak dilakukan pendalaman lebih lanjut pada fluktuasi *car* akibat penambahan beban serta tidak dilakukan pengontrolan pada sistem motor.
3. Motor linier yang digunakan jenis *permanent magnet linear synchronous motor*.

### 1.4 Tujuan

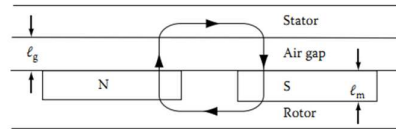
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti hubungan beban yang ditahan oleh motor linier dengan arus dari sumber. Selain itu, untuk meneliti besar batas maksimal beban yang mampu ditahan oleh model elevator yang menggunakan PMLSM utamanya dalam keadaan diam menahan beban.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Motor penggerak merupakan komponen paling penting dalam pergerakan elevator. Dengan ditemukannya motor linier, dimulailah babak baru penggunaan motor linier sebagai motor penggerak yang lebih stabil dan mudah dikontrol, terutama penggunaan motor linier jenis PMLSM yang saat ini sering digunakan sebagai motor penggerak pada gedung tingkat tinggi (Gieras, 1999: 2).

### Celah Udara

Untuk menentukan suatu rangkaian magnetik yang terdapat pada rangkaian motor linier dapat digambarkan garis yang membentuk suatu rangkaian magnetik sebagai berikut.



Gambar 1 Menentukan Suatu Rangkaian Magnetik

(Sumber: Khrisnan, Ramu, 2010: 7)

Sehingga akan diperoleh persamaan berikut.

$$H_m l_m + H_g l_g = 0 \quad (1)$$

Dimana

- $H_m$  dan  $H_g$  adalah intensitas medan magnet yang ada di magnet dan udara
- $l_m$  dan  $l_g$  adalah panjang magnet dan celah udara

### Gaya Detent

Gaya detent bisa didapat dengan menggunakan pendekatan *virtual work* yang mengacu pada pengaruh kerja suatu gaya pada perpindahan benda yang dapat dituangkan dalam persamaan sebagai berikut (Jung-seob, 2011: 5).

$$F_{detent}(z) = -\frac{d}{dz} \left( \frac{B_g^2(z) V_g}{2\mu_0} \right) \quad (2)$$

Melihat persamaan (2) tersebut, dapat diketahui bahwa penyebab timbulnya suatu *detent force* adalah adanya volume celah udara, di mana magnet permanen berhadapan secara langsung dengan bagian pembangkit medan magnetik, yaitu inti besi yang dililiti.

### Gaya Thrust

Jenis gaya kedua adalah gaya *thrust*. Gaya ini menyebabkan motor linier bergerak. Walaupun pada penelitian ini *car* tidak sampai bergerak, tetapi gaya *thrust* diharapkan mampu meningkatkan gaya elevator untuk menahan beban. Gaya *thrust* sangat dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada kumparan atau koil. Persamaan *thrust force* sebagai berikut (Jung-seob, 2012: 3).

$$F_{thrust} = p \frac{E_{rms} I}{v} \quad (3)$$

### Gaya Total

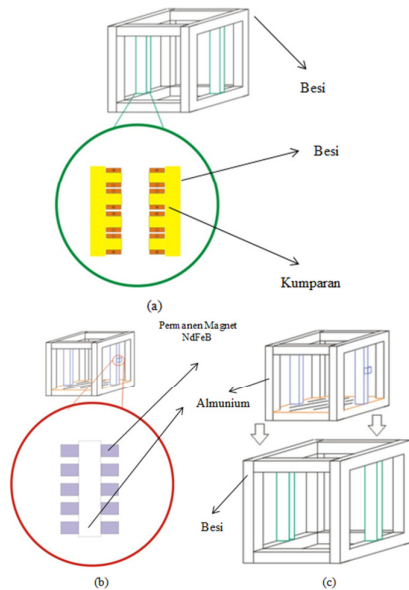
Gaya yang dibangkitkan pada suatu motor linier ada dua, yaitu gaya thrust dan gaya detent. Pada saat motor linier bekerja, kedua gaya tersebut bekerja secara bersamaan hingga perpaduan antara keduanya disebut dengan gaya total. Gaya

total sendiri memiliki karakteristik gabungan antara gaya thrust dan gaya detent. Seperti halnya gaya detent yang dipengaruhi komponen magnetik, serta gaya thrust yang merupakan perpaduan antara komponen magnetik dan elektrik. Oleh sebab itu gaya total dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_{\text{total}} = F_{\text{detent}} + F_{\text{thrust}} \quad (4)$$

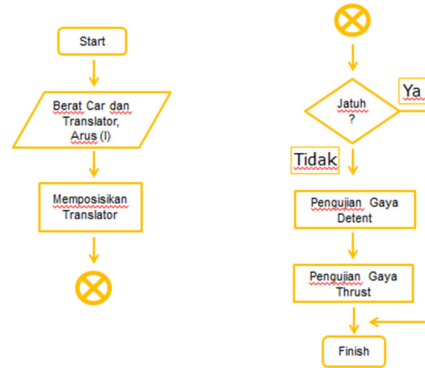
### III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi adalah dengan membuat prototipe elevator motor linier yang memiliki bentuk sebagai berikut.



Gambar 2 Model Elevator, (a) Bagian Sangkar Luar, (b) Bagian Sangkar dalam, dan (c) Penyatuan Kedua Sangkar dan Didapat Sebuah Elevator dengan PMLSM sebagai Penggerak

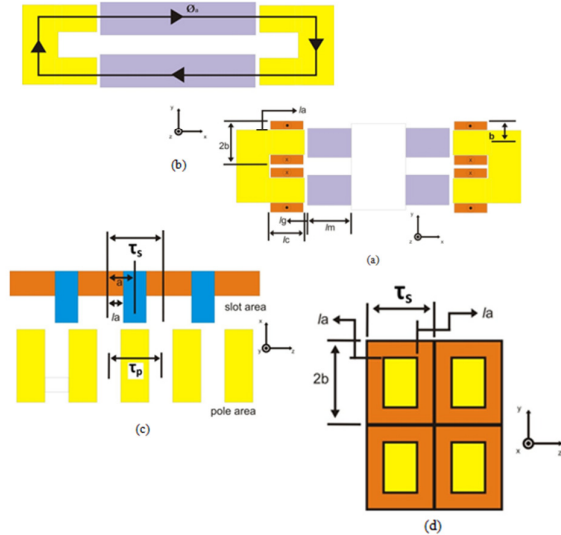
Penggerak berupa PMLSM dibagi atas dua komponen yaitu translator dan stator. Pada miniatur elevator motor linier ini, translator ditempatkan pada sangkar dalam, sedangkan bagian stator ditempatkan pada bagian sangkar luar. Penempatan tersebut, sangat berpengaruh pada sistem kerja elevator motor linier. Sedangkan langkah pengujian gaya tahan elevator motor linier ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 3 Diagram Alir Pengujian Alat

### IV. PEMBUATAN ALAT UJI

Bentuk PMLSM yang digunakan pada pengujian adalah sebagai berikut



Gambar 4 Model PMLSM (a) Bentuk PMLSM Dilihat dari Sisi Sumbu X-Y, (b) Bentuk PMLSM Dilihat dari Sisi X-Y dalam Keadaan Slot Tanpa Coil dan Pole Tanpa Pemisah, (c) Bentuk PMLSM Dilihat dari Sisi Sumbu X-Z, (d) Bentuk PMLSM Dilihat dari Sisi Sumbu Y-Z

Secara teoretis, gaya *thrust* sebenarnya merupakan hasil dari muatan magnetik dan muatan elektrik. Di mana  $I_a$  merupakan merupakan variabel yang paling berpengaruh pada muatan elektrik. Di lain pihak,  $I_m$  merupakan variabel yang paling berpengaruh pada muatan magnetik. Bisa juga dikatakan bahwa semakin besar  $I_a$ , semakin banyak jumlah lilitan setiap inti besi sehingga akan meningkatkan besar

muatan elektrik. Hal itu ditandai dengan semakin besarnya MMF. Di lain pihak, jika  $l_m$  semakin besar, akan didapat kerapatan *flux* magnet yang besar pula. Berikut adalah variabel yang tertera pada Gambar 4.

Tabel 1 Variabel yang Digunakan pada Gambar 4

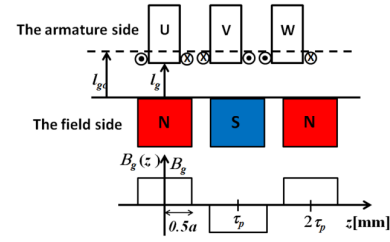
Symbol	Note
$L_z$	Half-length in cross-section
$L_h$	Height in cross-section
$\tau_p$	Pole pitch
$\tau_s$	Slot pitch
$l_m$	Magnet length to z-direction
$l_{xz}$	Magnet length to y-direction
$l_y$	Back yoke length to x-direction
$l_n$	Half-length of non-magnetic material box
$a$	Length of non-magnetic spacer
$b$	Half-length of core pitch
$l_c$	Length of a quarter of the height
$l_g$	Half-length of core pitch
$l_g$	Mechanical air gap length
$l_s$	Half-length of slot
$l_m$	Magnet length in the magnetization direction

Dalam proses menghitung gaya *detent* dan gaya *thrust* digunakan aplikasi rangkaian magnetik. Dalam pengaplikasian rangkaian magnetik itu, akan diberikan beberapa asumsi untuk menyederhanakan evaluasi secara teoretis pada gaya *detent* maupun gaya *thrust*. Asumsi itu sebagai berikut.

1. Kerapatan *flux* celah udara ( $B_g$ ) adalah sama dengan kerapatan *flux* magnet ( $B_m$ ). Hal itu dimaksudkan agar distribusi *flux* konstan tanpa memperhatikan efek slot.
2. Untuk penghitungan  $B_m$ , besar celah udara adalah  $l_{gc}$ , yang mana celah udara  $l_g$  akan dikalikan dengan koefisien carter untuk mengompensasi efek slot.
3. Permeabilitas dari inti besi ( $\mu_{rc}$ ) sangat besar. Hal itu berarti saturasi magnetik diabaikan.

Adanya ketiga asumsi itu akan mempermudah proses perhitungan.

Selain itu, rangkaian magnetik yang sudah dikompensasi akan memiliki celah udara efektif yang berbeda dari celah udara yang sebenarnya (umumnya celah udara efektif lebih besar daripada celah udara yang sebenarnya). Persamaan kerapatan celah udara pada unit *armature* yang bergerak dan berada dalam kondisi tidak ada muatan dapat dituliskan sebagai berikut.



Gambar 5 Distribusi *Flux* Efektif dari Unit *Armature* yang Bergerak  
Sumber: (Jung-Seob, 2012: 3)

Dalam kondisi ini, dengan menggunakan Fourier series  $B_g(z)$ , dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut (Jung-Seob, 2013).

$$B_g(z) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4B_g}{(2k-1)\pi} \sin\left(\frac{(2k-1)\pi(a-l_g)}{\tau_p}\right) \cos\left(\frac{(2k-1)\pi z}{\tau_p}\right) \quad (5)$$

Dengan demikian gaya *thrust* dan gaya *detent* dapat diketahui, sebagai berikut

$$F_{detent}(z) = \frac{9B_g^2 A_g(l_g)}{\pi \tau_p \mu_0} \sin^2\left(\frac{\pi(a-l_g)}{\tau_p}\right) \sin\left(\frac{2\pi z}{\tau_p}\right) \quad (6)$$

$$F_{thrust}(z) = \frac{2\sqrt{2}k_c(l_g) p N(l_a, l_c) l B_g A_g(l_g)}{\tau_p} \sin\left(\frac{\pi(a-l_g)}{\tau_p}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{\tau_p}\right) \quad (7)$$

Pada kenyataannya gaya *detent* dan gaya *thrust* akan bekerja secara bersamaan (Jung-Seob, 2012: 3). Hal tersebut membuat aplikasi motor linier pada arah gerak horizontal mengalami masalah pada cara memperkecil gaya *detent*. Gaya Total (perpaduan gaya *detent* dan gaya *thrust*) dapat dituliskan sebagai berikut.

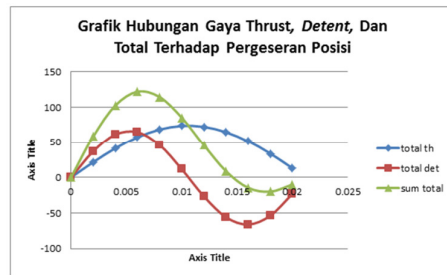
$$F_{total} = F_d \sin\left(\frac{2\pi z}{\tau_p}\right) + F_t \sin\left(\frac{\pi z}{\tau_p}\right) \quad (8)$$

Berikut diberikan pula ukuran yang digunakan pada model elevator motor linier.

Tabel 2 Ukuran Variabel Penyusunan Model PMLSM

Br	1.45
lgc	0.0012
lm	0.0104
a	0.0175
b	0.0175
la	0.01
lc	0.035
tp	0.02
J	700
p	2
I	5
N	100

Dengan menggunakan arus 3 A akan diperoleh performansi sebagai berikut.

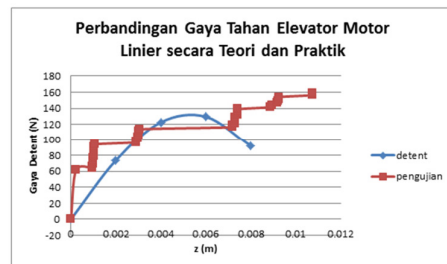


Gambar 6 Grafik Hubungan Gaya *Thrust*, *Detent*, dan Total terhadap Pergeseran Posisi Saat Arus 3 A

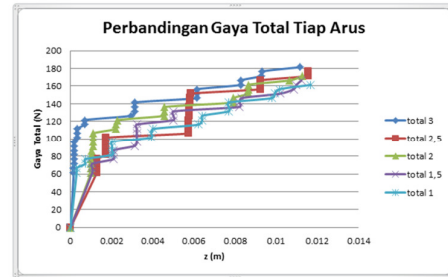
Berdasar pada perhitungan secara teoretis, diharapkan pengerjaan alat dapat memberikan hasil yang hampir sama. Adapun, pembuatan model ini untuk mencari sejauhmana keakuratan pembuatan alat uji dapat dilakukan..

## V. PENGUJIAN

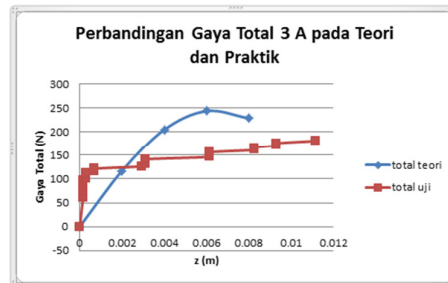
Pengujian pada miniatur elevator motor linier didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Gaya Tahan Elevator Motor Linier secara Teori dan Praktik



Gambar 8 Grafik Perbandingan Gaya Total Tiap Arus



Gambar 9 Grafik Perbandingan Gaya Total Saat Arus 3 A pada Teori dan Praktik

Pada Gambar 8 dapat diketahui bahwa arus membuat daya tahan elevator motor linier meningkat. Hal ini ditandai dengan meningkatnya gaya tahan elevator motor linier setiap kali penambahan arus. Selain itu, dapat diketahui juga bahwa penambahan arus pada sistem elevator motor linier membuat gaya tahannya meningkat daripada gaya *detent*-nya hingga mampu menahan 18,15 kg.

Sedangkan, untuk Gambar 7 dan 9 apabila diperhatikan lebih lanjut, maka dapat diketahui bahwa secara praktik dan teori terjadi perbedaan, baik pada gaya yang dihasilkan ataupun pada jarak yang dibutuhkan untuk mencapai gaya maksimal yang mampu dihasilkan. Akan tetapi, secara umum, hasil tersebut sudah bisa mewakili persamaan (6) dan (7), mengingat pembuatan alat dilakukan secara manual dan pada teori digunakan pendekatan keadaan ideal.

## VI. PENUTUP

### Kesimpulan

1. Hubungan arus dari sumber yang diterapkan pada elevator motor linier adalah berbanding lurus terhadap beban yang mampu ditahan oleh motor linier dalam keadaan diam atau berhenti.

2. Menurut pengujian yang dilakukan pada elevator motor linier diketahui bahwa gaya tahan yang mampu dibangkitkan adalah 181,5 N atau bisa menahan beban seberat 18,15 kg.
3. Dengan menggunakan sumber dc yang dapat diatur besar keluaran arusnya diketahui bahwa elevator motor linier dapat menahan beban walaupun dalam keadaan diam.

#### Saran

1. Dalam penelitian ini terdapat beberapa perbedaan antara pengkajian secara teori dengan pengujian secara praktik. Hal ini dikarenakan pembuatan motor linier dilakukan secara manual. Oleh sebab itu, peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan proses komputerisasi atau alat-alat dengan presisi tinggi.
2. Diharapkan peneliti selanjutnya mengembangkan penelitian ini pada sistem gerak dan mendesain agar elevator motor linier bisa mengangkut banyak beban lagi, baik keadaan diam maupun bergerak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bacerril Arreola, Rafael. 2003. *Nonlinear Control Design For A Magnetic Levitation System*. Master thesis. University of Toronto.
- Boldea, I and Nasar S.A.1976. *Linear Motion Electric Machines*. Kentucky: John Wiley & Sons, Inc.
- J. F. Gieras, Z. J. Piech. 1999. *Linear Synchronous Motor*. CRC Press LLC.
- Jong-Seob, Shin. 2011. *Proposal Of Double-Sided Type Transverse Flux Linear Synchronous Motor*. Tokyo.
- Jong-Seob, Shin. 2011. *Proposal Of Short Armature Core Double-Sided Transverse Flux Type Linear Synchronous Motor*. Tokyo.
- Jung-Seob, Shin. 2013. *Design And Evaluation Of Short Armature Core Double-Sided Transverse Flux Type PMLSM*. accepted for publication in Annual Report of Koseki Laboratory.
- Magcraft. 2007. *Permanent Magnet Selection and Design Handbook*. National Important LLC: Vienna.
- Ramu, Krisnan. 2009. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motors*. CRC Press: Prancis

Sun Lim, Hong. 2007. *Design And Control Of A Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems*. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, March.

Wang, Xudong, Yuan, Shiyang, Wang, Zhaoan. 2006. *Three Dimensional Electromagnetic Field Evaluations and General Problems with Definitive Solution in Linear Motion*. Transactions of China Electrotechnical Society, Vol 21, No.6, pp. 59-64.