

Studi Besaran Torka Induksi pada Motor Listrik *Hoist* Berdasarkan Hasil Perhitungan dan Simulasi

AHMAD ROBBY N. M.¹, NASRUN HARIYANTO^{1,2}, SITI SAODAH²

1. Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional Bandung
 2. Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung
- Email : ahmadrobbynm@gmail.com

ABSTRAK

Studi besaran torka induksi telah dilakukan pada motor listrik hoist crane NHE3T. Dalam bidang perencanaan, penggunaan motor listrik sebagai penggerak dan beban yang digerakkan diperlukan perhitungan torka yang terdapat pada poros motor yang dipakai untuk menggerakkan motor. Hal ini perlu dilakukan agar sistem tidak mengalami gangguan pada saat dibebani. Pengujian dilakukan pada motor listrik hoist crane, 3 fasa, 4 kW, 380 Volt, 50 Hz, 1500 rpm, kapasitas beban maksimum sebesar 3 ton. Dari hasil pengukuran dilakukan pengolahan data secara perhitungan matematis dan hasil dari perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan hasil simulasi simulink matlab yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja dari motor listrik hoist. Hasil dari perhitungan didapatkan torka induksi motor, beban 0 kg, 1982 kg, 2672 kg berturut-turut sebesar 8,22 N.m, 15,79 N.m, 20,73 N.m. Sedangkan, hasil simulasi simulink matlab didapatkan torka induksi motor, beban 0 kg, 1982 kg, 2672 kg berturut-turut sebesar 8,638 N.m, 15,48 N.m dan 20,21 N.m.

Kata Kunci : motor listrik hoist, torka pada poros motor, torka induksi kerja motor.

ABSTRACT

Study of the magnitude torque induction has been done on the electric motor hoist crane NHE3T. In the field of planning, the use of the electric motors as the driving and driven load torque were required calculations contained in the engine shaft as used to drive the motors. This case should be done so that the system has not impaired when under loading. The tests were carried out on the electric motor hoist crane, 3-phase, 4 kW, 380 Volt, 50 Hz, 1500 rpm, a maximum load capacity of 3 tons. From the results of measurements, the performed data processing in mathematical calculations and the results of the calculations would be compared with the results of the simulation matlab simulink which aims to determine the performance characteristics of the electric motor hoist. The results of the calculation were obtained the torque induction motor, load 0 kg, 1982 kg, 2672 kg, were 8.22 N.m, 15.79 N.m, 20.73 N.m. respectively. Meanwhile, the results of simulink matlab simulation were obtained the torque induction motor, load 0 kg, 1982 kg, 2672 kg were 8.638 N.m, 15.48 N.m, 20.21 N.m respectively.

Keywords : motor electric hoist, torque on the motor shaft, torque induction motors work.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam pengendalian motor-motor induksi tiga fasa yaitu, struktur motor induksi tiga fasa lebih ringan (20% hingga 40%) dibandingkan motor arus searah (DC) untuk daya yang sama, harga relatif lebih murah, konstruksinya lebih sederhana dan kokoh, dan perawatan motor induksi tiga fasa lebih hemat (**Masihin, 2008**).

Pada penggunaannya, motor induksi 3 fasa ini diaplikasikan pada motor listrik *hoist crane*. *Crane Hoist* adalah salah satu dari jenis pesawat angkat yang banyak dipakai sebagai alat pengangkat dan pengangkut pada daerah-daerah industri, pabrik maupun bengkel. Pesawat angkat ini dilengkapi dengan roda dan lintasan rel agar dapat bergerak maju dan mundur sebagai penunjang proses kerjanya. *Crane Hoist* digunakan dalam proses pengangkatan muatan dengan berat ringan hingga muatan dengan berat *medium*. *Crane Hoist* biasa digunakan untuk pengangkatan dan pengangkutan muatan di dalam ruangan. Letak *Crane Hoist* berada di atas, dekat dengan atap ruangan. Berbeda dengan jenis pesawat angkat yang digunakan di daerah terbuka yang struktur rangka memiliki penopang yang berdiri tegak di tanah, pesawat angkat jenis ini penopangnya adalah sisi kiri dan sisi kanan dari bangunan itu sendiri (**Ismanto, 2009**).

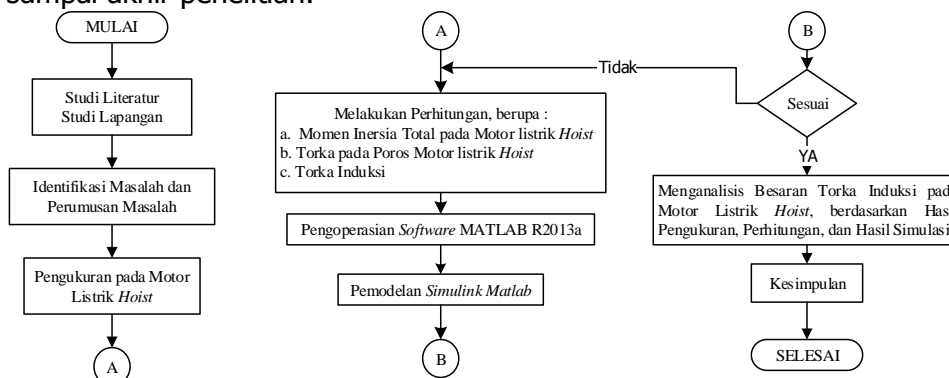
Penelitian ini dilakukan pada motor induksi sebagai motor penggerak *hoist* di gedung produksi, gedung *packing* (pengemasan) maupun gudang yang bertujuan untuk memindahkan suatu barang (beban). Pada *Crane Hoist*, digunakan 3 (tiga) motor listrik yang masing-masing satu motor untuk mengangkat beban, dua motor listrik lainnya untuk jalan di rel. Besar kecilnya daya motor listrik bergantung pada daya beban. Dalam bidang ini, diperlukan motor listrik sebagai penggerak dan beban yang digerakkan diperlukan perhitungan torka yang terdapat pada poros motor yang akan dipakai untuk menggerakkan beban. Hal ini perlu dilakukan agar sistem tidak mengalami gangguan pada saat dibebani.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis besaran torka induksi terhadap perubahan beban angkat yang terjadi pada motor listrik *hoist crane* berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan.

2. METODOLOGI DAN PERANCANGAN

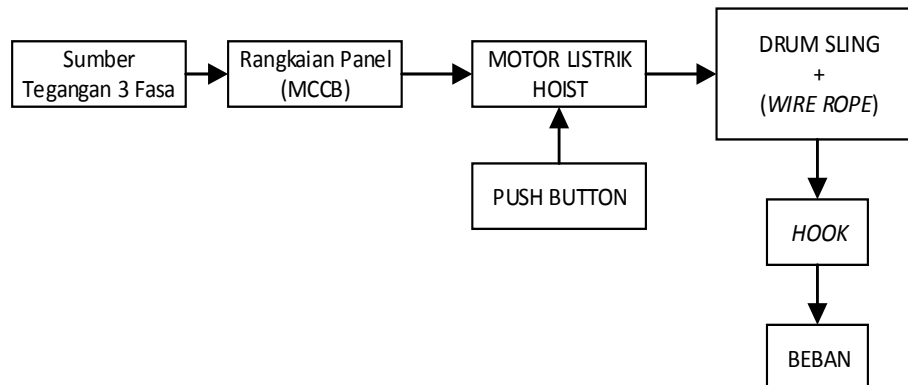
2.1 Langkah Penelitian

Gambar 1 di bawah merupakan *flowchart* yang menggambarkan langkah-langkah penelitian dari awal sampai akhir penelitian.



Gambar 1. Bagan alur pengerjaan

2.2 Blok Diagram Sistem pada Motor Listrik *Hoist* NHE3T



Gambar 2. Blok diagram sistem dari motor listrik *Hoist* NHE3T

Gambar 2 merupakan prinsip kerja sederhana dari sistem motor listrik *hoist* NHE3T. Sistem diagram blok di atas dapat dijelaskan sebagai berikut ini. Sumber tegangan tiga fasa digunakan sebagai sumber tegangan masuk, masuk ke rangkaian panel yang akan dihubungkan dengan MCCB yang berfungsi sebagai pemutus sirkit pada tegangan menengah. Kemudian, keluaran dari rangkaian panel (MCCB) dihubungkan dengan motor listrik hoist NHE3T yang berputar diberi kopel ke drum sling yang dimaksudkan sebagai penggerak tali atau *wire rope* yang digulung pada bagian drum sling, kemudian tali atau *wire rope* tersebut di hubungkan dengan *hook*. *Hook* berfungsi sebagai pengikat untuk ke beban. *push button* yang dihubungkan dengan motor listrik hoist NHE3T, bertujuan untuk mengontrol sistem kerja dari motor listrik hoist NHE3T.

Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini menunjukkan *name plate*, data *hoisting* dan *trolley* dari motor induksi yang digunakan pada *Crane NHE3T*.

Tabel 1. Name Plate Crane NHE3T

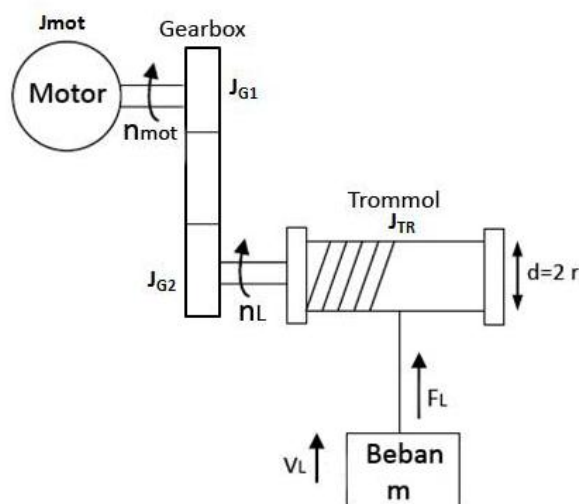
<i>Merk</i>	<i>Nippon Hoist</i>	
<i>Type</i>	NHE3T	
Tgl. Pembuatan	07/12/2006	
Tgl. Pemakaian	21/04/2007	
Panjang	6	m
Kec. Hoist	6	m/min
Putaran Max.	1500	Rpm
Putaran Nominal	-	Rpm
Cos ϕ	0.85	
Efisiensi Rated	80 %	
Rated Load	3	Ton
Berat Crane Hosit	240	Kg

Tabel 2. Data Hoisting Motor dan Trolley Motor

Motor	Hoisting	Trolley
Frekuensi	50 Hz	50Hz
Tegangan	380	380
Daya	4kW	4kW

2.3 Dasar Menentukan Rating Torka Mekanik pada Motor Listrik *Hoist* NHE3T

Gambar 3 di bawah ini merupakan motor kopling melalui *gear box* dan *trommol* (Esa, 2010).



Gambar 3. Motor kopling dengan *gearbox* dan beban lewat trommol

Dengan perhitungan keseluruhan momen inersia total pada motor listrik *hoist* yang terhubung dengan *gearbox* dan *trommol* atau *sling*, maka didapatkan persamaan 1 sebagai berikut.

$$J_T = \left(J_m + J_{G1} + J_{G2} \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2 + J_{TR} \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2 + \frac{m}{g} \cdot \left(\frac{r}{i}\right)^2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Jari-jari pada *trommol* (r) = 0,15 m
- Diameter pada *trommol* (d) = 0,30 m
- Gear ratio (G_R) = 1 : 6
- Momen inersia pada motor (J_{mot}) = 5 kg.m²
- Momen inersia pada *gear* 1 (J_{G1}) = 3 kg.m²
- Momen inersia pada *gear* 2 (J_{G2}) = 43 kg.m²
- Momen inersia pada *trommol* (J_{TR}) = 143 kg.m²
- Percepatan gravitasi bumi (g) = 10 m/s²

2.4 Perhitungan Torka Pada Poros Motor

Torka bisa juga diartikan sebagai momen puntir yang diberikan pada suatu benda, sehingga menyebabkan benda tersebut berputar pada poros. Persamaan untuk menghitung daya input, daya *output*, slip, dan kecepatan poros mekanik pada motor dapat dilihat pada persamaan (2)-(5) (Chapman, 1991) dan (Fitzgerald, 1909).

a. Menghitung daya input pada motor, diperlukan persamaan sebagai berikut.

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V_{3\phi} \times I_{\phi} \times \cos \theta \dots \dots \dots (2)$$

dengan P_{in} = daya input motor (*watt*), $V_{3\phi}$ = sumber tegangan (volt), I = arus (ampere), $\cos \theta$ = faktor daya.

- b. Sesuai dengan data *name plate* pada motor, didapatkan nilai efisiensi (η) sebesar 0,80. Sehingga, daya *output* motor dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{out} = \frac{P_{in} \times \eta}{100 \%} \dots\dots\dots (3)$$

dengan η = efisiensi motor (%), P_{in} = Daya input motor (*watt*), P_{out} = Daya output motor (*watt*).

- c. Menghitung nilai slip pada motor, diperlukan persamaan sebagai berikut.

$$Slip = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

dengan Slip = slip motor (%), n_s = kecepatan sinkron motor (rpm), n_r = Kecepatan rotor motor (rpm).

- d. Menghitung kecepatan poros mekanik pada rotor, diperlukan persamaan sebagai berikut.

$$\omega_m = (1 - Slip) \times \omega_{sync} \dots\dots\dots (5)$$

dengan ω_m = kecepatan poros mekanik motor (rad/s), ω_{sync} = Kecepatan sinkron motor (rad/s).

Persamaan untuk menghitung torka beban, torka dinamik, dan torka motor dapat dilihat pada persamaan (6)-(8) (**Desphande, 1990**).

- e. Menghitung torka beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_L = \frac{P_{out}}{\omega_m} \dots\dots\dots (6)$$

dengan T_L = Torka beban motor (N.m)

- f. Dengan asumsi $\frac{d\omega}{dt} = 0,1 \frac{rad}{s}$, sehingga untuk menghitung torka dinamik yang terjadi pada motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_d = J_T \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots (7)$$

dengan T_D = torka dinamik motor (N.m), J_T = momen inersia dari sistem penggerak ($kg.m^2$), ω = kecepatan sudut dalam mekanik (rad/s).

- g. Menghitung torka motor yang dibutuhkan motor ketika diberikan beban dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_m = T_L + T_d \dots\dots\dots (8)$$

dengan T_m = Torka motor (N.m).

2.5 Perhitungan Torka Induksi pada Motor

Persamaan rumus untuk menghitung torka induksi dapat dilihat pada persamaan (9)-(13) (**Chapman, 1991**) dan (**Fitzgerald, 1909**).

- a. Menghitung rugi-rugi tembaga stator, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_{scl} = 3 \times I^2 \times R_1 \dots\dots\dots (9)$$

Dengan P_{scl} = Daya rugi-rugi tembaga stator (*watt*), I = Arus fasa (*ampere*), R_1 = Tahanan stator (*ohm*).

- b. Menghitung daya celah udara, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_{AG} = P_{in} - P_{scl} \dots\dots\dots (10)$$

dengan P_{AG} = Daya rugi-rugi celah udara (*watt*).

c. Menghitung daya *converted*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_{conv} = (1 - s) \times P_{AG} \dots\dots\dots (11)$$

dengan P_{conv} = Daya rugi-rugi konversi (*watt*).

d. Menghitung daya rotor, dapat menggunakan persamaan berikut.

$$P_{rot} = P_{conv} - P_{out} \dots\dots\dots (12)$$

dengan P_{rot} = Daya rugi-rugi rotor (*watt*).

e. Menghitung torka induksi dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_{ind} = P_{AG} / \omega_{sync} (N.m) \dots\dots\dots (13)$$

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Hasil Pengukuran pada Motor Listrik *Hoist* NHE3T

Tabel 3 berikut ini merupakan hasil pengukuran, terutama arus dan putaran, pada motor listrik *hoist crane* NHE3T.

Tabel 3. Data hasil pengukuran pada motor listrik *hoist* NHE3T

No	Beban	Tegangan	Arus	f	n_s	n_r
	(Kg)	Volt	A	(Hz)	(Rpm)	(Rpm)
1	0	378,67	4,08	50	1500	1465
2	1982	379,67	7,96	50	1500	1433
3	2672	380,00	10,56	50	1500	1414

3.2 Hasil Perhitungan Momen Inersia Total

Hasil perhitungan momen inersia total ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Data perhitungan momen inersia total pada motor

No	Beban	Momen Inersia Total
	(Kg)	J_T (N.m)
1	0	13,17
2	1982	13,29
3	2672	13,34

3.3 Hasil Perhitungan Torka Mekanik

Perhitungan data torka dinamik motor, torka beban dan torka mekanik motor sesuai dengan persamaan (2)-(8). Hasil dari perhitungan torka dinamik motor, torka beban, dan torka mekanik motor tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan torka mekanik motor

Beban	Torka Load	Torka Dinamik	Torka Motor
(Kg)	T_L (N.m)	T_D (N.m)	T_M (N.m)
0	6,85	1,32	8,17
1982	13,70	1,33	15,03
2672	18,44	1,33	19,77

3.4 Hasil Perhitungan Torka Induksi pada Motor Listrik *Hoist*

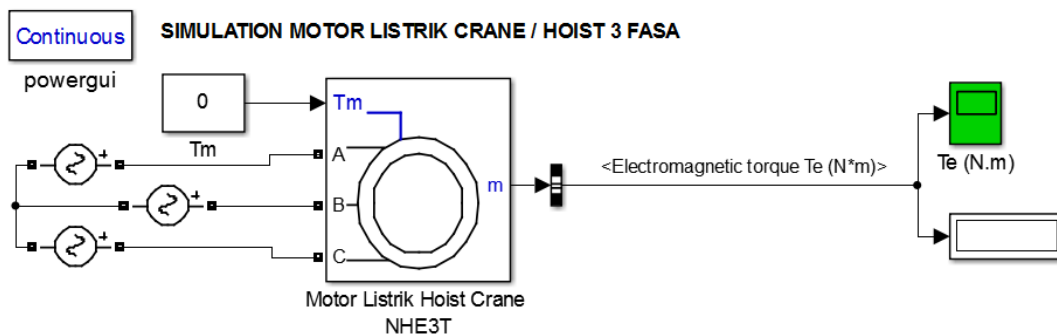
Perhitungan torka induksi motor diperlukan perhitungan sesuai dengan persamaan (9)-(13). Sehingga, Tabel 6 akan menunjukkan data hasil perhitungan torka induksi motor.

Tabel 6. Hasil perhitungan torka induksi pada motor

No	Beban	Daya Celah Udara	Kecepatan Sinkron	Torka Dinamik	Torka Induksi Motor
	(Kg)	P_{ag}	ω_{sync} (rad/s)	T_D (N.m)	T_{ind}
1	0	1289,83	157,00	1,32	8,22
2	1982	2479,80	157,00	1,33	15,79
3	2672	3254,20	157,00	1,33	20,73

3.5 Pemodelan Simulasi *Simulink MATLAB*

Gambar 4 menunjukkan pemodelan *simulink* motor listrik *hoist crane* NHE3T.



Gambar 4. Pemodelan *simulink* motor listrik *hoist crane* NHE3T

Adapun parameter-parameter nilai yang ada pada blok motor listrik *hoist crane* ditunjukkan oleh Tabel 7 sebagai berikut.

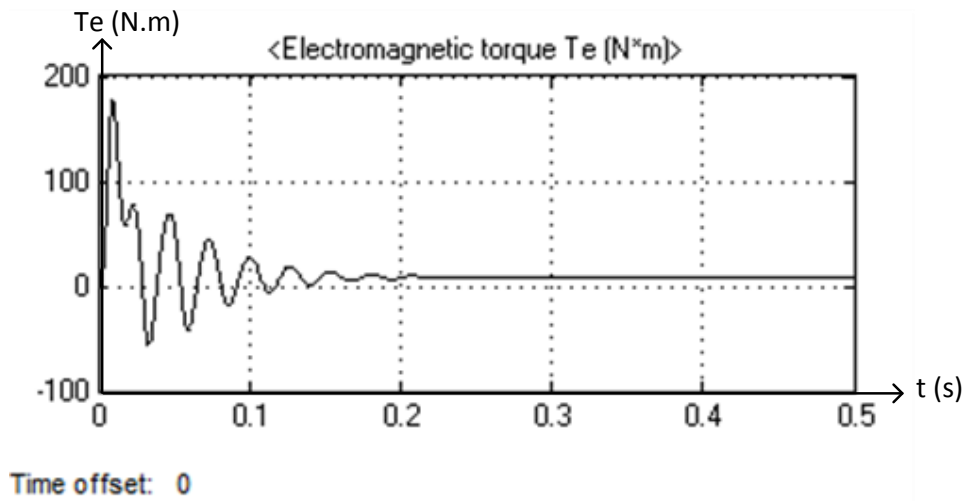
Tabel 7. Parameter Motor Listrik *Hoist Crane*

Parameter Besaran	Nilai
Daya (P)	4 kW
Tegangan (V)	380 Volt
Frekuensi (f)	50 Hz
Fasa (F)	3 fasa
Jumlah Kutub (p)	4 Kutub
Tahanan Rotor (R_2)	3,125 Ω
Tahanan Stator (R_1)	1,405 Ω
Reaktansi Rotor (X_2)	1,833 Ω
Reaktansi Stator (X_1)	1,833 Ω
Reaktansi Gandeng (X_m)	54,071 Ω
Momen Inersia (J)	0,0131 kg.m ²

3.6 Hasil Pengujian berdasarkan Simulasi *Simulink MATLAB*

Simulasi dengan *simulink* untuk pemodelan sesuai dengan Gambar 4 sehingga didapatkan hasil keluaran yang berupa besaran torka elektromagnetik dari motor listrik *hoist* NHE3T. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Software Simulink Matlab*, maka didapatkan hasil keluaran besaran torka elektromagnetik sebagai berikut.

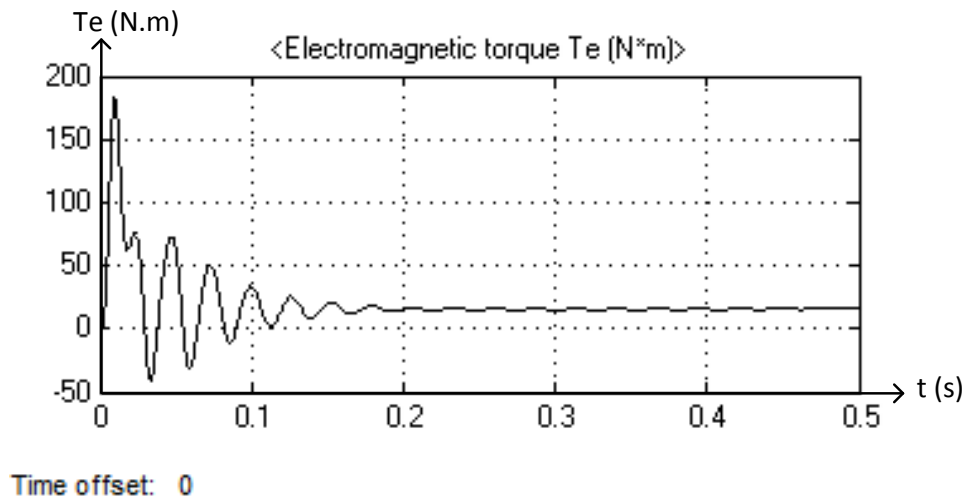
a. Hasil Kurva Simulasi Beban 0 Kg



Gambar 5. Torka elektromagnetik dengan kondisi beban 0 kg

Gambar 5 menunjukkan torka elektromagnetik dengan kondisi beban 0 kg, dan diperoleh torka elektromagnetik dalam keadaan *steady state* pada saat $t > 0,28s$ sebesar 8,628 N.m.

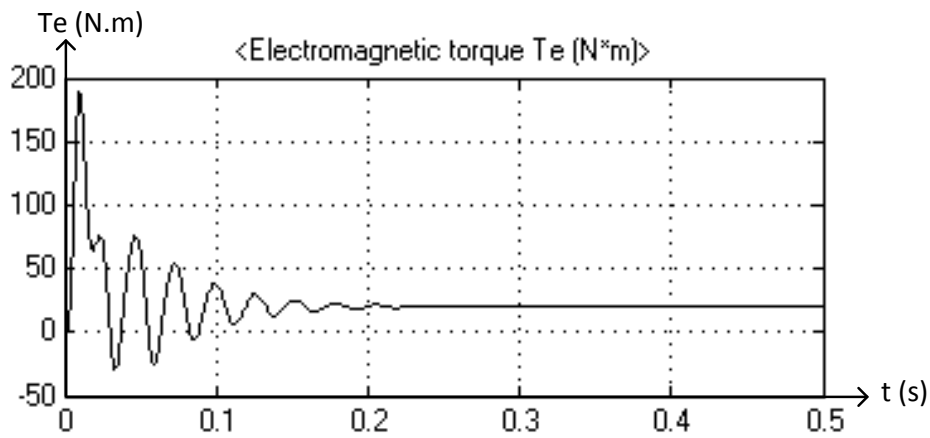
b. Hasil Kurva Simulasi Beban 1982 Kg



Gambar 6. Torka elektromagnetik dengan kondisi beban 1982 kg

Gambar 6 menunjukkan torka elektromagnetik dengan kondisi beban 1982 kg, dan diperoleh torka elektromagnetik dalam keadaan *steady state* pada saat $t > 0,28s$ sebesar 15,48 N.m.

c. Hasil Kurva Simulasi Beban 2672 Kg



Time offset: 0

Gambar 7. Torka elektromagnetik dengan kondisi beban 2672 kg

Gambar 7 menunjukkan torka elektromagnetik dengan kondisi beban 2672 kg, dan diperoleh torka elektromagnetik dalam keadaan *steady state* pada saat $t > 0,31$ s sebesar 20,21 N.m.

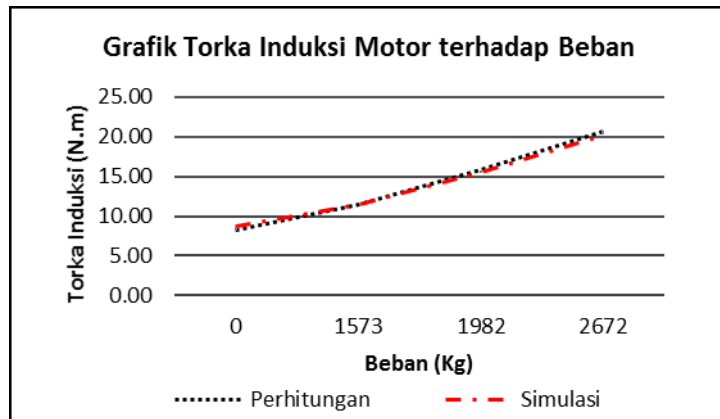
Dari hasil pengujian dengan menggunakan pemodelan *Simulink Matlab*, maka data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian dengan menggunakan pemodelan *Simulink Matlab*

No	Beban (Kg)	T_m (N.m)	V_{ab} (Volt)	I_{eff} (A)	n_r (Rpm)	T_e (N.m)
1	0	8,17	380	5,09	1465	8,638
2	1982	15,03	380	5,75	1436	15,48
3	2672	19,77	380	6,37	1416	20,21

3.8 Analisis Pengukuran, Perhitungan, dan Simulasi

Berdasarkan hasil pengukuran, perhitungan, sampai hasil simulasi yang telah diperoleh di atas, maka dapat dibuat grafik besaran torka induksi dengan membandingkan nilai hasil perhitungan, dan hasil simulasi, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Torka induksi terhadap beban

Dari Gambar 8, direpresentasikan torka induksi terhadap beban. Kurva garis berwarna merah merupakan nilai hasil *simulasi* yang diperoleh dari *simulasi simulink matlab*, sedangkan kurva garis berwarna hitam merupakan nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan.

Berdasarkan hasil perhitungan, pada beban angkat sebesar 0 kg, 1982 kg, 2672 kg diperoleh torka induksi motor berturut-turut sebesar 8,22 N.m, 15,79 N.m dan 20,73 N.m. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi, pada beban angkat sebesar 0 kg, 1982 kg, 2672 kg diperoleh torka induksi motor berturut-turut sebesar 8,638 N.m, 15,48 N.m dan 20,21 N.m. Sehingga dibutuhkan torka mekanik pada poros motor untuk menggerakkan motor listrik *hoist crane* sebesar 8,17 N.m, 15,03 N.m, dan 19,77 N.m.

Hasil perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan tidak lebih dari 1% sehingga nilai dapat ditoleransi karena nilai dihasilkan antara perhitungan dan simulasi tidak terpaut jauh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dikemukakan sebelumnya, serta dari data dan hasil perhitungan dan hasil *simulink matlab*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan persamaan (2) sampai dengan persamaan (8), didapatkan hasil perhitungan dari torka mekanik pada poros motor. Torka mekanik pada motor tersebut digunakan sebagai input ke dalam simulasi *simulink matlab*. Besarnya nilai torka mekanik pada saat beban angkat 0 kg, 1982 kg, 2672 kg berturut-turut sebesar 8,17 N.m, 15,03 N.m dan 19,77 N.m.
2. Berdasarkan persamaan (13), Tabel 6, dan Tabel 8, didapatkan torka induksi hasil perhitungan dan hasil simulasi *simulink Matlab*. Hasil yang diperoleh hampir mendekati antara hasil perhitungan dan hasil simulasi. Selain itu, perolehan nilai torka induksi motor listrik *hoist* ketika beban angkat semakin besar maka nilai torka induksi motor akan semakin besar.

DAFTAR RUJUKAN

- Chapman, S. J. (1991). *Electric Machinery Fundamental (Second edition)*. United States: McGraw-Hill.
- Fitzgerald, A.E., Kingsley, C., Umans dan Stephen, D. (1909). *Electric Machinery Fifth Edition in SI units*. London : McGraw-Hill.
- Ismanto, A. (2009). *Mechanical Engineering Ismanto Alpha's*. Dipetik Rabu, 10 Agustus 2016, dari <http://ismantoalpha.blogspot.co.id/2009/12/pesawat-angkat-crane-hoist.html>
- Desphande, M. V. (1990). *Electric Motor Applications and Control*. : Wheller.
- Masihin, E. H. A. (2008). *Pemodelan dan Simulasi Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa*. Universitas Indonesia
- Esa, Yuda. (2010). *Solution for your drives and automation challenges*. Dipetik Rabu, 10 Agustus 2016, dari <http://www.yudaesa.com/index.php?mib=news.detail&id=25>