

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RUGI-RUGI SISTEM PROPULSI
PADA KERETA REL LISTRIK (KRL)**

***LOSS ANALYSIS OF PROPULSION SYSTEM
ON AN ELECTRIC RAILWAY***

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat Strata Satu (SI)

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

SRI INDAH LESTARI

NIM: 20140120131

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2017

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, dengan sebenarnya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini saya susun tanpa adanya tindak plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Apabila di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggungjawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang dijatuhkan oleh jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Yogyakarta, 22 Desember 2017



Sri Indah Lestari



MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyiroh:5)

“Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

(Q.S. Al-Insyiroh:7-8)

“Ilmu tanpa agama adalah lumpuh, agama tanpa ilmu adalah buta.”

(Albert Einstein)

“Ilmu itu ada dimana-mana, pengetahuan dimana-mana tersebar, kalau kita bersedia membaca, dan bersedia mendengar.”

(Felix Siauw)

“Hidup sungguh sangat sederhana. Yang hebat-hebat hanya tafsirannya.”

(Pramoedya Ananta Toer)

HALAMAN PERSEMBAHAN



Sujud syukur padaMu Allah Azza Wa Jalla, Tuhan yang Maha Esa, Maha Tinggi, Maha Adil dan Maha Penyayang yang selalu memberikan banyak kenikmatan dan jalan keluar bagi umat-Nya. Salah satunya yaitu nikmat akan ilmu. Alhamdulillah, sampailah pada penghujung awal perjuanganku, kupersembahkan karya kecil ini kepada:

1. Agamaku Islam yang telah mengenalkanku kepada Allah SWT beserta Rosul-Nya,
2. Kedua orang tua Bapak dan Ibu yang selalu merelakan batin maupun material agar anakmu ini mendapat asupan ilmu yang tinggi. Terimakasih atas pengobarnan yang sangat luar biasa ini,
3. Adikku yang selalu memberi doa, dukungan dan motivasi agar menjadi kakak yang baik,
4. Keluarga besar yang selalu memberi dorongan,
5. Kakak tersabar Wahyu Sari Agustini yang selalu menemani dan menjagaku ketika di tanah rantau,
6. Sahabat terdekat Nisfi Nurlailatul Masfiah yang selalu memberi dorongan,
7. Sahabat terbaik yang selalu memberi motivasi dan dukungan,
8. Teman-teman organisasi IMM Fakultas Teknik UMY yang selalu mengajak agar menjadi orang yang lebih berguna,
9. Teman-teman organisasi KMTE yang selalu mengajak agar menjadi orang yang tidak mudah putus asa,
10. Teman-teman seperjuangan khususnya elektro 2014 kelas C yang tak henti-hentinya memberi dukungan agar tidak patah semangat,
11. Teman-teman KKN 035 UMY yang selalu memberi motivasi agar menjadi lebih baik, dan lebih baik lagi,

KATA PENGANTAR

Assalāmu‘alaikum Warahmatullāhi Wabarakātuh.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah Azza wa Jalla yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Rugi-rugi Sistem Propulsi pada Kereta Rel Listrik (KRL)”**.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis tidak terlepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari beberapa pihak. Untuk itu, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Jaza’ul Ikhsan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
2. Bapak Dr. Ramadoni Syahputra, S.T, M.T. dan bapak ing. Faaris Mujaahid, M.Sc. selaku pimpinan Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
3. Bapak Ir. Agus Jamal, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaganya dalam mengarahkan penulis mulai dari pelaksanaan penelitian hingga tersusunnya Tugas Akhir ini,
4. Ibu Anna Nur Nazilah Chamin, S.T, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaganya dalam mengarahkan penulis mulai dari pelaksanaan penelitian hingga tersusunnya Tugas Akhir ini,
5. Bapak Karisma Trinanda Putra, S.ST., M.T. selaku dosen penguji,
6. Segenap Dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
7. Seluruh sttaf Teknik Elektro,
8. PT. INKA (Persero) yang telah memberikan kesempatan untuk dapat melaksanakan penelitian,
9. Orang tua dan segenap keluarga yang selalu memberikan dukungan baik berupa materialistik maupun spiritualistik,

10. Sahabat terbaik dalam meraih mimpi,
11. Teman seperjuangan Elektro 2014 C,
12. Teman-teman KKN 035 UMY yang selalu memberi motivasi agar menjadi lebih baik, dan lebih baik lagi,
13. Teman-teman organisasi IMM FT UMY yang selalu mendorong untuk menjadi orang yang berguna,
14. Serta semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih dalam penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan guna perbaikan pada penelitian berikutnya. Semoga karya sederhana ini bermanfaat.

Billāhi Fī Sabīlil Haq, Fastabiqul Khairāt.

Wassalāmu 'alaikum Warahmatullāhi Wabarakātuh.

Yogyakarta, 22 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
SURAT PERNYATAAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRACT	ix
INTI SARI	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Kereta Rel Listrik (KRL)	8
2.2.1.1 Sistem Propulsi KRL.....	9
2.2.2 Suplai Daya KRL	10
2.2.3 Pantograf	13
2.2.3.1 Pantograf pada KRL.....	14
2.2.4 <i>Circuit Breaker (CB)</i>	14
2.2.5 Kapasitor	16

2.2.5.1	Filter Kapasitor.....	16
2.2.6	<i>Inverter</i>	17
2.2.6.1	Inverter Tiga Fasa.....	17
2.2.6.2	PWM (Pulse Width Modulation)	19
2.2.6.3	Inverter pada KRL.....	21
2.2.6.4	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	22
2.2.6.5	Rugi-rugi pada IGBT.....	24
2.2.7	Motor AC	27
2.2.7.1	Jenis-jenis Motor AC.....	27
2.2.7.2	Motor Induksi	28
2.2.7.2.1	Stator	28
2.2.7.2.2	Rotor	30
2.2.7.3	Gaya Gerak Listrik Stator dan Rotor.....	30
2.2.7.4	Slip.....	32
2.2.7.5	Frekuensi Arus Rotor	33
2.2.7.6	Daya pada Motor Induksi	34
2.2.7.6.1	Daya Input (P_{in})	35
2.2.7.6.2	Daya Celah Angin (P_{AG})	35
2.2.7.6.3	Daya Mekanik (P_{CONV}).....	36
2.2.7.6.4	Rugi Angin dan Gesekan (P_{W+F})	36
2.2.7.6.5	Rugi lain-lain (P_{STRAY})	36
2.2.7.6.6	Daya Output (P_{out})	37
2.2.7.6.7	Efisiensi	37
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....		38
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2	Alat dan Bahan	38
3.3	Metodologi Penelitian	39
BAB IV ANALISIS		42
4.1	Spesifikasi KRL	42
4.2	Suplai Daya KRL	44
4.3	Sistem <i>Propulsi</i> KRL	44

4.3.1	Rugi-rugi pantograf.....	47
4.3.2	Rugi-rugi pada Circuit Breaker (CB).....	52
4.3.3	Rugi-rugi pada Kapasitor.....	52
4.3.4	Rugi-rugi Inverter VVVF IGBT.....	53
4.3.4.1	Rugi-rugi IGBT.....	54
4.3.4.2	Rugi-rugi dioda.....	61
4.3.4.3	Total rugi-rugi Inverter VVVF IGBT.....	62
4.3.5	Rugi-rugi Motor Traksi AC Tiga Fasa.....	63
4.3.6	Rugi-rugi secara keseluruhan.....	70
BAB V PENUTUP.....		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
LAMPIRAN.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sistem propulsi KRL	10
Gambar 2. <i>3rd rail</i>	11
Gambar 3. (a) pantograf <i>single arm</i> , (b) pantograf <i>double arm</i>	14
Gambar 4. Rangkaian inverter tiga fasa	18
Gambar 5. VSI tiga fasa. Bentuk gelombang ideal untuk SPWM ($m_a:0,8$, $m_f:9$):	
(a) sinyal pembawa dan modulasi;	20
(b) keadaan <i>switch</i> S1;	20
(c) keadaan <i>switch</i> S3;	20
(d) tegangan keluaran ac;	20
(e) spektrum tegangan <i>output ac</i> ;	20
(f) arus keluaran ac;	20
(g) arus dc;	20
(h) arus dc	20
Gambar 6. Rangkaian PWM analog	21
Gambar 7. Konfigurasi Darlington pada MOSFET dan BJT	23
Gambar 8. Diagram rugi-rugi IGBT	24
Gambar 9. Kontruksi motor induksi tiga fasa	28
Gambar 10. Kontruksi stator	29
Gambar 11. Bentuk belitan stator	29
Gambar 12. <i>Squirrel-cage rotor</i>	30
Gambar 13. Kontruksi kumparan stator dan rotor	31
Gambar 14. Tingkatan daya pada motor induksi tiga fasa	34
Gambar 15. Diagram distribusi daya pada motor induksi tiga fasa	35
Gambar 16. Denah lokasi Penelitian	38
Gambar 17. Flowchart	39
Gambar 18. Satu set KRL	42
Gambar 19. Layout gerbong TC1	42
Gambar 20. Layout gerbong M1	43

Gambar 21. Layout gerbong M2	43
Gambar 22. Layout gerbong TC2.....	43
Gambar 23. Blok diagram sistem <i>propulsi</i> pada KRL	45
Gambar 24. Rangkaian sistem <i>propulsi</i> KRL pada masing-masing motor (M)..	46
Gambar 25. Model pantograf dan <i>catenary</i>	48
Gambar 26. Kecepatan 250 km/h	48
Gambar 27. Kecepatan 350 km/h	49
Gambar 28. Kecepatan 4000 km/h	49
Gambar 29. Kecepatan 450 km/h	50
Gambar 30. Hubungan antara kecepatan dengan <i>ploss</i>	51
Gambar 31. Rangkaian <i>inverter</i> tiga fasa dengan kontrol PWM	54
Gambar 32. Grafik hubungan antara tegangan <i>output</i> dengan rugi-rugi	58
Gambar 33. Grafik hubungan antara tegangan output dengan tegangan referensi	59
Gambar 34. Grafik hubungan tegangan <i>output</i> inverter dengan efisiensi IGBT .	60
Gambar 35. Grafik hubungan antara tegangan <i>output inverter</i> dengan rugi-rugi dioda.....	62
Gambar 36. Grafik hubungan antara tegangan <i>output inverter</i> dengan rugi-rugi dan efisiensi inverter VVVF IGBT	63
Gambar 37. Grafik hubungan antara tegangan <i>input</i> dengan rugi-rugi dan efisiensi motor.....	65
Gambar 38. Grafik hubungan antara tegangan input, frekuensi, putaran rotor dan mean putar stator	66
Gambar 39. Grafik hubungan antara slip dengan medan putar stator dan putaran rotor	67
Gambar 40. Grafik hubungan antara slip dengan rugi tembaga rotor	68
Gambar 41. Grafik hubungan antara putaran rotor dengan rugi gesekan.....	69
Gambar 42. Grafik hubungan antara putaran rotor dengan rugi <i>stray</i>	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Standar besar tegangan pada KRL	8
Tabel 2. Hasil tegangan inverter tiga fasa	18
Tabel 3. Rugi-rugi stray.....	37
Tabel 4. spesifikasi sistem <i>propulsi</i> pada KRL.....	44
Tabel 5. Hubungan kecepatan dengan <i>ploss</i>	51
Tabel 6. Parameter perhitungan daya <i>on</i> dan daya <i>off</i>	55
Tabel 7. Rugi-rugi pada IGBT.....	57
Tabel 8. Hasil perhitungan rugi-rugi dioda	61
Tabel 9. Hasil perhitungan rugi-rugi <i>inverter</i> VVVF IGBT	62
Tabel 10. Hasil pengujian lima kondisi motor traksi	64
Tabel 11. Hasil perhitungan rugi-rugi pada lima kondisi motor traksi	65
Tabel 12. Hasil efisiensi pada lima kondisi pengujian	71
Tabel 13. Hasil efisiensi pada lima kondisi pengujian (lanjutan)	72
Tabel 14. Efisiensi sistem propulsi pada KRL kondisi pengujian IV	73