

ANALISIS *STARTING* MOTOR INDUKSI PADA SISTEM *CONVEYOR* BERBASIS SIMULASI ETAP

SKRIPSI

**Skripsi ini diajukan untuk melengkapi salah satu persyaratan
menjadi Sarjana Strata Satu Program S1**

Oleh:

**Rifky Renaldi Inanto
237002526018**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL
FEBRUARI 2026**

ANALISIS *STARTING* MOTOR INDUKSI PADA SISTEM *CONVEYOR* BERBASIS SIMULASI ETAP

Oleh:

Rifky Renaldi Inanto
237002526018



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL
FEBRUARI 2026**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi dengan judul:

“Analisis *Starting Motor* Induksi pada Sistem *Conveyor* Berbasis Simulasi ETAP”

yang dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan menjadi Sarjana Strata Satu Program S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional, sebagai mana yang saya ketahui adalah bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari Skripsi yang sudah pernah diajukan atau dipakai untuk mendapatkan gelar di lingkungan Universitas Nasional maupun di Perguruan Tinggi atau instansi lainnya, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang menjadi sumber informasi atau acuan yang dicantumkan sebagai mana mestinya.



Jakarta, 27 Februari 2026



(Rifky Renaldi Inanto)
NIM 237002526018

PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul:

“Analisis *Starting Motor* Induksi pada Sistem *Conveyor* Berbasis Simulasi ETAP”

dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan menjadi Sarjana Strata Satu Program S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional dan telah disetujui untuk diujikan dalam sidang skripsi sesuai dengan ketentuan administrasi dan akademik yang berlaku.

Jakarta, 27 Februari 2026



Nama : Rifky Renaldi Inanto
NIM : 237002526018

Pembimbing Utama,

(Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D.)
NID. 0301050724

Pembimbing Pendamping,

(W.G. Adhyartha Usse Keraf, S.T., M.T.)
NID. 040017016

Ketua Program Studi,

(Ir. Idris Kusuma, M.T.)
NID. 0305076601

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rifky Renaldi Inanto
NPM : 237002526018
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis *Starting* Motor Induksi pada Sistem *Conveyor* Berbasis Simulasi ETAP

Telah berhasil **dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima** sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.

Pembimbing I : Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing II : W.G. Adhyartha Usse Keraf, S.T., M.T.

Penguji I : Ir. Idris Kusuma, M.T.

Penguji II : Ir. Rianto Nugroho, M.T.

Penguji III : Ir. R.A. Suwodjo Kusumoputro, M.M., Ph.D.

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 27 Februari 2026



(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Nasional, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rifky Renaldi Inanto
NPM : 237002526018
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik dan Sains
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nasional **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisis Starting Motor Induksi pada Sistem Conveyor Berbasis Simulasi ETAP”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Nasional berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta
Pada tanggal: 27 Februari 2026
Yang menyatakan



Rifky Renaldi Inanto

ABSTRAK

Rifky Renaldi Inanto, “Analisis Starting Motor Induksi pada Sistem Conveyor Berbasis Simulasi ETAP”, Program S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional, di bawah bimbingan Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D., dan W.G. Adhyartha Usse Keraf, S.T., M.T., Februari 2026, 107 Halaman + xiii + 18 lampiran.

Motor induksi tiga fasa berkapasitas besar merupakan penggerak utama pada sistem conveyor di industri pertambangan, namun pengasutan *Direct On Line* (DOL) secara simultan pada 35 motor memicu lonjakan arus *inrush* tinggi dan penurunan tegangan (*voltage dip*) ekstrem pada jaringan 20 kV yang berisiko menyebabkan motor mengalami kegagalan start. Penelitian ini bertujuan merancang strategi pengasutan sekuensial menggunakan optimasi *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) di MATLAB dan validasi ETAP 19 untuk menjaga kestabilan profil tegangan. Hasil simulasi membuktikan pengasutan simultan tidak layak karena tegangan terminal anjlok hingga 66,2% dan tegangan bus kritis menyentuh 86,3%, jauh di bawah standar IEEE 3002.7. Sebaliknya, optimasi MILP berhasil meningkatkan tegangan bus secara signifikan sebesar 4,25%–8,68% sehingga seluruh sistem stabil di atas 94%, di mana pada titik paling kritis (Bus_T5_SS7) tegangan pulih dari 86,3% menjadi 94,98% dan mengubah status bus dari kritis menjadi aman. Selain itu, metode sekuensial memperbaiki tegangan motor hingga tetap berada di atas 82% dengan peningkatan tegangan terminal mencapai 6,51%–24,35% pada penyulang T4 dan 11,54%–24,86% pada penyulang T5. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengasutan sekuensial berbasis MILP merupakan solusi teknis yang andal untuk menjamin keandalan operasional sistem conveyor di area tambang.

Kata Kunci: Motor Induksi, *Direct On Line*, Pengasutan, ETAP, MILP.

ABSTRACT

Rifky Renaldi Inanto, “Analysis of Induction Motor Starting in the Conveyor Systems Based on ETAP Simulation”, Electrical Engineering Undergraduate Program, Faculty of Engineering and Science, Nasional University, under the guidance of Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D., and W.G. Adhyartha Usse Keraf, S.T., M.T., February 2026, 107 pages + xiii + 18 appendices.

Large-capacity three-phase induction motors serve as the main driving units in conveyor systems in the mining industry; however, simultaneous Direct-On-Line (DOL) starting of 35 motors can trigger high inrush currents and severe voltage dips in the 20 kV network, which may lead to motor starting failure. This study aims to design a sequential motor starting strategy using Mixed-Integer Linear Programming (MILP) optimization in MATLAB and validate the results using ETAP 19 to maintain voltage profile stability. The simulation results show that simultaneous starting is not feasible because the terminal voltage drops drastically to 66.2%, while the critical bus voltage reaches 86.3%, far below the IEEE 3002.7 standard. In contrast, the MILP-based optimization significantly improves the bus voltage by 4.25%–8.68%, ensuring that the entire system remains stable above 94%; at the most critical point (Bus_T5_SS7), the voltage recovers from 86.3% to 94.98%, changing the bus status from critical to safe. Furthermore, the sequential starting method improves the motor voltage so that it remains above 82%, with terminal voltage increases ranging from 6.51%–24.35% on feeder T4 and 11.54%–24.86% on feeder T5. This study concludes that MILP-based sequential starting is a reliable technical solution for ensuring the operational reliability of conveyor systems in mining areas.

Keywords: Induction Motor, Direct on Line, Starting, ETAP, MILP.



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat, karunia dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul "**Analisis Starting Motor Induksi pada Sistem Conveyor Berbasis Simulasi ETAP**". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro di Universitas Nasional.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak. Bimbingan yang diberikan telah memberikan wawasan dan pengetahuan yang mendalam, serta memberikan **motivasi dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan** skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Oleh karenanya, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ruliyanto, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak W.G. Adhyartha Usse Keraf, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan yang sangat berharga dalam proses penyusunan skripsi ini;
2. Ibu Endang Retno Nugroho R, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan arahan selama proses perkuliahan;
3. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam perkuliahan yang telah menjadi landasan bagi penulis dalam menyusun skripsi ini;
4. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan bantuan dukungan material, moral dan doa.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberikan **kontribusi positif** dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Jakarta, 27 Februari 2026
Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metode Penyelesaian Masalah.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.2 Motor Induksi 3 Fasa.....	7
2.3 Starter <i>Direct-On-Line</i>	9
2.4 <i>Voltage Dip</i> (Penurunan Tegangan Sesaat).....	11
2.5 Arus dan Tegangan Bolak-Balik	12
2.6 Impedansi	15
2.7 Daya Listrik	16
2.8 Transformator	18
2.9 Analisis Aliran Daya (<i>Power Flow Analysis</i>)	19
2.10 <i>Linear Dist Flow</i>	20
2.11 Analisis <i>Motor Starting</i>	21
2.12 <i>Mixed Integer Linear Programming</i>	25
2.13 <i>Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)</i>	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Desain Penelitian Sistem	28
3.4 Input Data Penelitian	43
3.5 Metodologi Perhitungan dan Optimasi.....	49
3.6 Skenario Simulasi	56
3.7 Parameter Evaluasi Sistem	57
BAB 4 PEMBAHASAN	58
4.1 Perhitungan MILP pada Sistem Uji 3-Bus 3-Motor.....	58
4.2 Hasil Analisis Aliran Daya.....	69
4.3 Hasil Analisis Pengasutan Statik Simultan.....	75
4.4 Hasil Analisis Pengasutan Statik Sekuensial.....	87
4.5 Perbandingan Hasil Pengasutan Simultan dan Sekuensial	101

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	110



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi motor induksi	8
Gambar 2.2 Rangkaian <i>starting direct-on-line</i>	10
Gambar 2.3 Arus AC sinusoidal	13
Gambar 2.4 Tegangan RMS	14
Gambar 2.5 Segitiga daya	17
Gambar 2.6 Konstruksi transformer	18
Gambar 2.7 Rangkaian impedansi yang disederhanakan	22
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> tahapan penelitian	28
Gambar 3.2 Tampilan <i>overhead line</i> sistem kelistrikan <i>conveyor</i>	31
Gambar 3.3 <i>Flowsheet</i> sistem konveyor	32
Gambar 3.4 <i>Single line diagram</i> jaringan 20kv	34
Gambar 3.5 <i>Single line diagram</i> substation 1	35
Gambar 3.6 <i>Single line diagram</i> substation 2	36
Gambar 3.7 <i>Single line diagram</i> substation 3	37
Gambar 3.8 <i>Single line diagram</i> substation 4	38
Gambar 3.9 <i>Single line diagram</i> substation 5	39
Gambar 3.10 <i>Single line diagram</i> substation 6	40
Gambar 3.11 <i>Single line diagram</i> substation 7	41
Gambar 3.12 <i>Single line diagram</i> sistem uji	42
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> program MATLAB	54
Gambar 4.1 Hasil analisis aliran daya sistem pada ETAP 19	71
Gambar 4.2 Hasil simulasi tegangan bus saat pengasutan motor secara simultan ($t=1$)	77
Gambar 4.3 Hasil simulasi ETAP pengasutan simultan T4 SS2IN	83
Gambar 4.4 Arus <i>starting</i> simultan penyulang T4 dan T5	84
Gambar 4.5 Profil tegangan bus menggunakan <i>starting</i> sekuensial	89
Gambar 4.6 Tegangan motor terhadap waktu pada pengasutan sekuensial motor (T4)	92
Gambar 4.7 Karakteristik arus pengasutan bertahap pada jalur T4	93
Gambar 4.8 Profil tegangan terminal motor pada pengasutan bertahap penyulang T5	94
Gambar 4.9 Karakteristik arus pengasutan bertahap pada penyulang T5	95
Gambar 4.10 Hasil simulasi ETAP pengasutan sekuensial T4 SS2IN	98
Gambar 4.11 Arus penyulang utama T4 dan T5	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter <i>starting</i> berdasarkan metode (motor 37 kW, jaringan 2,5 MVA).....	10
Tabel 2.2 Perbandingan biaya metode <i>starting</i>	11
Tabel 2.3 Standar batas penurunan berdasarkan IEEE Std 3002.7-2018	12
Tabel 3.1 Data parameter kabel	42
Tabel 3.2 Data motor induksi	43
Tabel 3.3 Data beban bus	43
Tabel 3.4 Spesifikasi motor nominal	44
Tabel 3.5 Tabel parameter <i>starting</i> motor	45
Tabel 3.6 Data <i>generator</i>	46
Tabel 3.7 Data <i>transformator</i>	46
Tabel 3.8 Impedansi ekivalen transformator	47
Tabel 3.9 Data kabel	48
Tabel 3.10 Data <i>panjang</i> kabel	48
Tabel 3.11 Data beban Substation	49
Tabel 4.1 Hasil MILP sistem uji pada MATLAB	69
Tabel 4.2 Profil tegangan bus tiap <i>substation</i>	70
Tabel 4.3 Hasil perhitungan menggunakan metode <i>lindistflow</i> pada MATLAB	73
Tabel 4.4 Komparasi tegangan dan <i>error lindistflow</i> terhadap ETAP	74
Tabel 4.5 Tegangan bus <i>substation</i> simulasi pengasutan simultan ETAP saat $t=1$	76
Tabel 4.6 Tegangan terminal motor penyulang T4 pada kondisi pengasutan simultan	79
Tabel 4.7 Tegangan terminal motor penyulang T5 pada kondisi pengasutan simultan	80
Tabel 4.8 Tabel waktu pengasutan optimal	88
Tabel 4.9 Tegangan minimum bus saat pengasutan sekuensial	90
Tabel 4.10 Perbandingan tegangan bus pada <i>starting</i> simultan dan sekuensial.....	102
Tabel 4.11 Perbandingan tegangan motor T4 <i>starting</i> simultan dan sekuensial	103
Tabel 4.12 Perbandingan tegangan motor T5 pada <i>starting</i> simultan dan sekuensial	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program MATLAB	110
Lampiran 2 Pengasutan simultan ETAP.....	117
Lampiran 3 ETAP Pengasutan Sekuensial	119
Lampiran 4 <i>Load Flow Report</i>	122
Lampiran 5 <i>Motor Acceleration Report</i> (Sekuensial)	124
Lampiran 6 <i>Motor Acceleration Report</i> (Sekuensial)	126

