

**TRANSISI ENERGI MELALUI PENERAPAN OPTIMAL  
EBT DENGAN MENGGUNAKAN MODEL LEAP**

**Tesis**

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Pendidikan Strata Dua (S-2)  
sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



**Disusun Oleh:**

**YUDIARTONO**

**30000421413020**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI**

**SEKOLAH PASCA SARJANA**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**2023**

## **PERSETUJUAN UJIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing dari:

Mahasiswa : Yudiartono  
NIM : 30000421413020  
Program Studi : Magister Energi  
Judul Tesis : Transisi Energi Melalui Penerapan Optimal  
EBT Dengan Menggunakan Model LEAP

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal, Ujian Kemajuan Tesis, dan Ujian Seminar Tesis sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 5 Juni 2023

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng**  
NIP. 196405261989031002

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Ir. Adiarso, M.Sc, IPU**  
NIP. 196302231988121001

## PERNYATAAN ORISINALITAS

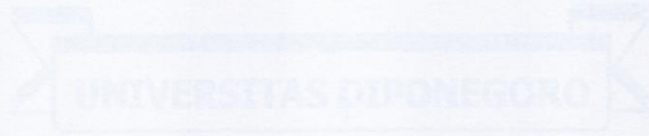
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Semarang, 5 Juni 2023



Judiartono

NIM. 30000421413020



**HALAMAN PENGESAHAN**

**TESIS**

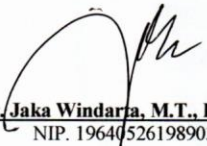
TRANSISI ENERGI MELALUI PENERAPAN OPTIMAL  
EBT DENGAN MENGGUNAKAN MODEL LEAP

Disusun Oleh :  
YUDIARTONO  
30000421413020

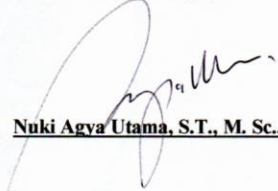
Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada tanggal 5 Juni 2023

Tim Penguji,


**Dosen Pembimbing I**

  
**Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng**  
NIP. 196405261989031002

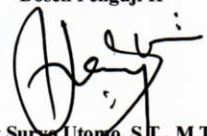
**Dosen Penguji I**

  
**Nuki Agva Utama, S.T., M. Sc., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing II**

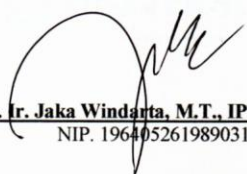
  
**Dr. Ir. Adiarso, M.Sc, IPU**  
NIP. 196302231988121001

**Dosen Penguji II**


  
**MSK Tony Surya Utomo, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197104211999031003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Energi

**Ketua Program Studi Magister Energi**

  
**Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng**  
NIP. 196405261989031002

**Dekan Sekolah Pascasarjana**

  
**Dr. R.B. Sularto, S.H., M. Hum**  
NIP. 196701011991031005

**PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Yudiantono  
NIM : 30000421413020  
Program Studi : Magister Energi  
Sekolah : Program Pascasarjana  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

TRANSISI ENERGI MELALUI PENERAPAN OPTIMAL  
EBT DENGAN MENGGUNAKAN MODEL LEAP

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di: Semarang  
Pada tanggal: 5 Juni 2023  
Yang Menyatakan,



Yudiantono  
NIM. 30000421413020

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Transisi Energi Melalui Penerapan Optimal EBT Dengan Menggunakan Model LEAP”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan tesis ini kepada :

1. Prof. Dr. R.B. Sularto, S.H, M. Hum selaku Dekan Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
2. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro sekaligus selaku Dosen Pembimbing Utama.
3. Dr. Ir. Adiarso, M.Sc, IPU, selaku koordinator Program Kajian Kebijakan Pengembangan Teknologi dan Inovasi BRIN dan selaku Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, arahan dan saran dalam membimbing penulis mengerjakan proposal.
4. Segenap peneliti dan perekayasa kelompok Perencanaan Energi BRIN yang telah membantu proses pengambilan data tesis, arahan, dan masukannya..
5. Bapak Sholikin, S.E., selaku tim administrasi yang selalu berbaik hati membantu aktivitas perkuliahan di Magister Energi.
6. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang luar biasa kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Serta Keluarga tercinta yang telah memberikan semangat dan motivasi yang luar biasa hingga terselesaikannya proposal tesis ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga penulisan tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, 5 Juni 2023

Penulis

Yudiartono

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN UJIAN TESIS .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS .....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
INTISARI.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Permasalahan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Manfaat Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Orisinalitas Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Kondisi Saat Ini .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1.1 Energi Primer dan Energi Final.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1.2 Pembangkit Tenaga Listrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1.3 Intensitas Energi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1.4 Bauran Energi Primer.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Penerapan Energi Baru Dan Terbarukan Secara Optimal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Perangkat Lunak LEAP ( <i>Low Emission Analysis Platform</i> ).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.3.1	Reference Energy System .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2	Analisis Kebutuhan Energi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3	Analisis Pasokan Energi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4	Konfigurasi Pemodelan Kebutuhan Energi Dan Penyediaan Energi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.1	Konfigurasi Pemodelan Kebutuhan Energi....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.2	Konfigurasi Pemodelan Penyediaan Energi...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1	Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2	Jenis Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3	<i>Conceptual Framework</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4	Alur Kegiatan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5	Ruang Lingkup Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6	Definisi Skema .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7	Variabel Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7.1	Variabel Pemodelan Kebutuhan Energi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7.2	Variabel Pemodelan Pasokan Energi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8	Bentuk Dan Sumber Data.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.9	Teknik Penghimpunan Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.10	Validasi Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.11	Teknik Analisis Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1	Asumsi Makro .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2	Analisis Proyeksi Kebutuhan Energi Final .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



4.2.1	Dampak Agenda KBLBB Dan Agenda Peralihan Ke Kompor Induksi dan Jargas Terhadap Kebutuhan Energi ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.2	Penghematan Energi Di Sektor Transportasi dan Rumah Tangga .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3	Analisis Proyeksi Penyediaan Energi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1	Reference Energy System .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2	Proyeksi Kebutuhan Listrik Nasional .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.3	Proyeksi Kapasitas Pembangkit Listrik Nasional .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.4	Proyeksi Produksi Listrik Nasional..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.5	Proyeksi Penyediaan EBT dan Rasio Kontribusi EBT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.6	Perbandingan Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik EBT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.7	Biaya Investasi Pembangkit Tenaga Listrik...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.8	Konsumsi Bahan Bakar Fosil Jenis Batubara	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.9	Emisi GRK Pembangkit Tenaga Listrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB V KESIMPULAN .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Daftar Pustaka .....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR TABEL

- Tabel 1.1. Kesenjangan proyeksi Kapasitas Pembangkit Listrik antara RUEN dan Outlook Energi Indonesia (OEI)-2021 serta IESR(Presiden RI, 2017)(Edi Hilmawan et al., n.d.)(Giwangkara, 2020)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 1.2. Ringkasan Penelitian Terdahulu .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2.1. Kurva Pembelajaran dan Trend Biaya Pembangkit Listrik (Learning Curve – Cost Trend )(KESDM & DEA, 2021).. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.1. Asumsi Utama Untuk setiap Skema (BPS, 2015), (Edi Hilmawan et al., n.d.),(Dirjen ILMATE, 2021), (Kementerian ESDM, 2021). ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.2. Asumsi Teknologi Ketenagalistrikan (KESDM & DEA, 2021)... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.3. Prakiraan Permintaan Energi Final Nasional Per Jenis Sektor Transportasi Untuk Skema BAU dan Skema Transisi Energi .... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.4. Prakiraan Permintaan Energi Final Nasional Per Jenis Sektor Rumah Tangga Untuk Skema BAU dan Skema Transisi Energi ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.5. Penghematan Konsumsi BBM Untuk Sektor Transportasi..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.6. Penghematan Kebutuhan LPG dan Subsidi Pada Area Rumah Tangga (Yudiarsono et al., 2022) .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.7. Perbandingan Kapasitas Pembangkit EBT Pada Berbagai Dokumen .....**Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Suplai Energi Primer Periode 2010 s.d. 2020 (KESDM, 2021a)  
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.2. Konsumsi Energi Final Tanpa Biomasa Per Sektor (KESDM, 2021a)  
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.3. Konsumsi Energi Final Tanpa Biomasa Per Jenis (KESDM, 2021a)  
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.4. Bauran Pembangkit Tenaga Listrik (KESDM, 2021a) ..... **Error!  
Bookmark not defined.**
- Gambar 2.5. Intensitas Energi Primer dan Intensitas Energi Final (tanpa  
biomassa)(KESDM, 2021a) .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.6. Bauran Energi Primer Nasional Tahun 2020 (Kusdiana, 2021) **Error!  
Bookmark not defined.**
- Gambar 2.7. Reference Energy System (RES)(Bappenas, 2014)**Error! Bookmark  
not defined.**
- Gambar 2.8. Pemodelan Kebutuhan Energi Per Sektor (Zaman & Yong,  
2021)(Dewan Energi Nasional, 2016)(Yudiartono et al., 2022)**Error!  
Bookmark not defined.**
- Gambar 2.9. Pemodelan Penyediaan Energi (Zaman & Yong, 2021) ..... **Error!  
Bookmark not defined.**
- Gambar 3.1. Conceptual Framework Transisi Energi..... **Error! Bookmark not  
defined.**
- Gambar 3.2. Alur Kegiatan Transisi Energi Melalui Penerapan Optimal EBT  
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.1. Permintaan Energi Final Nasional Per Sektor Untuk Skema BAU dan  
Skema Transisi Energi .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2. Permintaan Energi Final Nasional Per Jenis Untuk Skema BAU dan  
Skema Transisi Energi .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.3. *Reference Energy System* (RES) Penyediaan Energi ..... **Error!  
Bookmark not defined.**
- Gambar 4.4. Proyeksi Kebutuhan Listrik Periode 2020-2050 ....**Error! Bookmark  
not defined.**
- Gambar 4.5. Proyeksi Kapasitas Pembangkit Listrik Fosil dan EBT ..... **Error!  
Bookmark not defined.**

Gambar 4.6. Proyeksi Produksi Listrik Pembangkit Listrik Fosil dan EBT .. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7. Kebutuhan Tenaga Listrik Untuk Mendukung Kendaraan Listrik  
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8. Penyediaan EBT Dan Rasio Kontribusi EBT Pada Skema BAU  
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9. Penyediaan EBT Dan Rasio Kontribusi EBT Pada Skema TE. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10. Penyediaan EBT Dan Rasio Kontribusi EBT Pada Skema NK  
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.11. Proyeksi Biaya Investasi Pembangkit listrik EBT dan Fosil Untuk  
Tiga Skema .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12. Proyeksi Kebutuhan Batubara Untuk Pembangkit Listrik Pada Tiga  
Skema .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13. Emisi GRK Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Tiap Skema .. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14. Emisi GRK Pembangkit Tenaga Listrik Per Jenis Bahan Bakar  
.....**Error! Bookmark not defined.**

## INTISARI

Tujuan dari tesis ini adalah analisis dekarbonisasi pasokan dan kebutuhan energi nasional jangka panjang. Pada sisi kebutuhan dipertimbangkan pengembangan kendaraan listrik dan pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN) untuk sektor transportasi, serta penerapan kompor induksi dan pengembangan jaringan gas bumi di perkotaan (jargas) untuk sektor Rumah Tangga. Pada sisi pasokan, sektor ketenagalistrikan mempertimbangkan target bauran energi primer berbasis EBT sesuai dengan target KEN 2014. Perangkat Lunak LEAP (*Low Emission Analysis Platform*) melakukan evaluasi pasokan dan kebutuhan energi jangka panjang periode 2020 sampai 2050. Pada tahun 2050, penerapan kendaraan listrik di sektor transportasi dan penerapan kompor induksi di sektor rumah tangga akan menaikkan demand listrik sebesar 20%, dari 674,46 juta SBM menjadi 809,03 juta SBM. Di sisi lain, penerapan kendaraan listrik secara optimal akan menurunkan konsumsi BBM sebesar 48%, dr 659,93 juta SBM

menjadi 340,37 juta SBM. Selain itu, penerapan kompor induksi secara luas di sektor Rumah Tangga akan menurunkan konsumsi LPG sebesar 75%, dari 115,78 juta SBM menjadi 29,5 juta SBM. Pada sektor ketenagalistrikan, untuk memenuhi target bauran energi EBT, kapasitas total pembangkit EBT tahun 2025 mencapai 28,14 GW, meningkat lebih dr 4 kali menjadi 116,93 GW tahun 2050. Teknologi EBT yg dikembangkan adalah tenaga air (PLTA, PLTM, PLTA Pump Storage), tenaga biomasa (PLTBm, co-firing PLTUB), PLTS (rooftop solar PV, floating solar PV, ground mounted solar PV), PLTP, dan PLTN. Biaya investasi total yg dibutuhkan selama 30 thn sebesar 48.180,8 juta USD (Rp. 722,71 triliun atau Rp. 24 triliun/th).

*Kata Kunci: Dekarbonisasi, EBT, LEAP*

### **ABSTRACT**

*The aim of this thesis is to analyze the decarbonization of long-term national energy supply and demand. On the demand side, the development of electric vehicles and the utilization of biofuels (BBN) for the transport sector were considered, as were the application of induction stoves and the development of natural gas networks in urban areas (jargas) for the household sector. On the supply side, the electricity sector considers the renewable-based primary energy mix target in accordance with the KEN 2014 target. The LEAP (Low Emission Analysis Platform) software evaluates long-term energy supply and demand for the period 2020–2050. In 2050, the optimization of electric vehicles in the transportation sector and the application of induction stoves in the household sector will increase electricity demand by 20%, from 674.46 million SBM to 809.03 million SBM. On the other hand, optimal implementation of electric vehicles will reduce fuel consumption by 48%, from 659.93 million SBM to 340.37 million SBM. In addition, widespread implementation of induction stoves in the household sector will reduce LPG consumption by 75%, from 115.78 million SBM to 29.5 million SBM. In the*

*electricity sector, to fulfill the target of a renewable energy mix, the total capacity of renewable energy generation in 2025 reached 28.14 GW, increasing more than 4 times to 116.93 GW in 2050. Renewable energy technologies developed are hydropower, pumped hydro storage, biomass power, biomass co-firing for coal power plants, solar PV (rooftop solar PV, floating solar PV, ground-mounted solar PV), geothermal power plants, and nuclear power plants. The total investment cost required for 30 years is 48,180.8 million USD (IDR 722.71 trillion, or IDR 24 trillion per year).*

*Keywords: Decarbonization, NRE, LEAP*