

Laporan Akhir

Indonesian Integrated Energi, Economic and Environment Modeling (I2E3M)



Laporan Delivery - 3

Disiapkan oleh:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 1. Bobby A. Tamaela Wattimena | (IIEE Associate) |
| 2. Jimmy Merari | (CINOVASI) |
| 3. Yuniar Kurniawan Suroso | (CINOVASI) |
| 4. Azis Pusakantara | (IIEE) |
| 5. Sukma Sepriana | (IIEE Associate) |
| 6. Edwin Yudhayana | (CINOVASI) |

Disetujui oleh

Rachmat Sugandi Hamdani

**IIEE [Indonesian Institute for Energi Economics]
11Maret 2014**

RINGKASAN

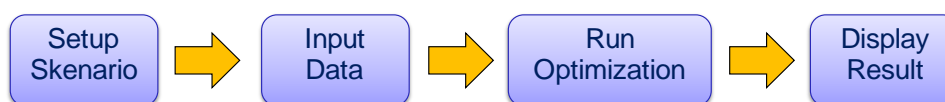
Indonesian Integrated Energi, Economic and Environment Modeling (I2E3M) merupakan sistem pemodelan komputer yang mengintegrasikan permintaan, konversi dan pasokan energi di Indonesia berdasarkan variabel ekonomi dan dampaknya terhadap lingkungan terutama emisi gas rumah kaca yang berasal dari penggunaan energi. I2E3M pertama kali dikembangkan oleh Institut Indonesia untuk Ekonomi Energi (IIEE) pada tahun 2003 dengan mengadopsi struktur dasar National Energi Model System (NEMS) milik Departemen Energi Amerika Serikat.

Struktur I2E3M menggunakan pendekatan modular yang terdiri dari 4 (empat) modul pasokan (minyak dan gas bumi, batubara, transmisi dan distribusi gas bumi serta energi terbarukan), 2 modul konversi(ketenagalistrikan dan kilang), 4 modul permintaan(rumah tangga, komersial, industri dan transportasi), modul aktivitas energi internasional, modul makroekonomi dan modul lingkungan. Ditengah-tengah struktur I2E3M terdapat modul Integrasi yang memiliki peran penting dalam mendistribusikan data dari satu modul ke modul lainnya, dan menemukan solusi ekuilibrium berdasarkan nilai toleransi tertentu. Modul energi terbarukan dan modul lingkungan merupakan 2 modul baru hasil pengembangan I2E3M.

Selain mengembangkan 2 modul baru, pengembangan I2E3M dilakukan dengan meninjau ulang terhadap persamaan matematika dan *source code* masing-masing modul serta menghubungkannya dengan *database* yang akan lebih mempermudah dalam pengelolaan data dan dapat menangani masalah konsistensi. Penjelasan lebih lengkap mengenai masing-masing modul dan persamaan matematika dari seluruh modul dapat dilihat pada bagian 2.2 dan Lampiran A laporan ini.

Software I2E3M terdiri dari 3 (tiga) komponen utama, yakni *User Interface*, *Data Storage* dan *Computation*. *User interface* memuat *Desktop User Interface* dan *Excel Interface* digunakan sebagai antar muka yang bersentuhan langsung dengan pengguna. *Data storage* mengandung MySQL database sebagai komponen penyimpan data. Komponen *Computation* mengandung Integrator Module, GLPK Interpreter dan Module Script yang merupakan inti utama dari aplikasi I2E3M secara keseluruhan.

Penggunaan aplikasi I2E3M dirancang mengikuti alur kerja sebagai berikut:



Dengan konfigurasi saat ini, I2E3M akan mampu menganalisa berbagai hal, diantaranya kebutuhan energi di 4 (empat) sektor permintaan, kebutuhan sektor ketenagalistrikan yang meliputi bauran kapasitas, pembangkitan, bahan bakar serta pangsa energi terbarukan dan emisi dari pembangkitan tenaga listrik. Selain itu I2E3M dapat menganalisa kemampuan pasokan untuk memenuhi permintaan BBM dan mengetahui besarnya jumlah bahan bakar yang harus diimpor. Dari sisi infrastruktur gas bumi, I2E3M dapat menganalisa kapasitas penyaluran dan biaya transportasi. Dari sisi minyak dan gas bumi serta batubara, I2E3M mampu menganalisa kapasitas dan biaya produksi serta kemampuan memasok permintaan dalam negeri. Dalam hal energi terbarukan dan emisi, I2E3M mampu melihat

keterkaitan/dampak target pangsa Energi Baru Terbarukan ataupun emisi dalam bauran energi secara keseluruhan beserta biayanya.

Daftar Isi

RINGKASAN	ii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Metodologi Pengerjaan.....	1
1.4 Pengembangan I2E3M	2
1.4.1 I2E3M versi Awal	2
1.4.2 I2E3M Versi Pengembangan	2
1.5 Sistematika Laporan	3
1.6 Deliverable	3
II. PANDUAN MODEL I2E3M	4
2.1 Struktur I2E3M.....	4
2.2 Modul-Modul I2E3M.....	8
2.2.1 Modul Rumah Tangga (RSDM).....	8
2.2.2 Modul Komersial (CSDM)	8
2.2.3 Modul Industri (ISDM)	8
2.2.4 Modul Transportasi (TSDM)	9
2.2.5 Modul Ketenagalistrikan (ESM).....	9
2.2.6 Modul Kilang (PSM).....	10
2.2.7 Modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM).....	11
2.2.8 Modul Batubara (CSM).....	11
2.2.9 Modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM)	11
2.2.10 Modul Energi Terbarukan (RFM)	12
2.2.11 Modul Makro Ekonomi (MAM)	12
2.2.12 Modul Aktivitas Energi Internasional (IEAM).....	12
2.2.13 Modul Lingkungan Hidup (EM).....	13
2.2.14 Module Script dan Modul Integrasi	13
2.2.14.1 Module Script.....	13
2.2.14.2 Modul Integrasi	13
III. PANDUAN SOFTWARE I2E3M	16
3.1 Desain Arsitektural Software I2E3M	16
3.2 Desktop User Interface	16

3.3	<i>Excel User Interface</i>	16
3.4	<i>MySQL Database</i>	17
3.5	<i>Integrator Module</i>	17
3.6	<i>GLPK Interpreter</i>	17
3.7	<i>Module Script</i>	17
3.8	Desain Alur Kerja Pengguna	18
3.8.1	Set-up Skenario	18
3.8.2	Input Data	20
3.8.3	Run Simulation	20
3.8.4	Display Report	20
3.9	Desain Struktur Database.....	21
3.10	Pertimbangan Desain	22
3.11	<i>User Guide</i>	23
IV.	KESIMPULAN & REKOMENDASI.....	24
4.1	Kesimpulan.....	24
4.2	Rekomendasi.....	25
LAMPIRAN	26

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Input-Ouput I2E3M	5
Tabel 2. Rangkuman Hasil Optimisasi dan Deskripsinya	15
Tabel 3. Pengaturan <i>Module Specific Setting</i> Pada Setiap Modul.....	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur IIEEM.....	4
Gambar 2. Komponen Software I2E3M	16
Gambar 3. Alur Kerja I2E3M pada Diagram Arsitektural	18
Gambar 4. Tabel di <i>Database</i> yang terlibat dalam Optimisasi	21

DAFTAR SINGKATAN

CLC	Chronological Load Curve
CSDM	Commercial Sector Demand Module (Modul Permintaan Sektor Komersial)
CSM	Coal Supply Module (Modul Penyediaan Batubara)
DSM	Demand-Side Management
EM	Environmental Module (Modul Lingkungan)
ESM	Electricity Sector Module (Modul Sektor Ketenagalistrikan)
GDP	Gross Domestic Product
GLPK	GNU Linier Programming Kit
GMPL	GNU Mathematical Programming Language
HSD	High Speed Diesel
IEAM	International Energi Activity Module (Modul Aktivitas Energi Internasional)
IIEEEM	Indonesian Integrated Energi, Economic and Envirnomental Modeling
IM	Integrating Module
ISDM	Industrial Sector Demand Module (Modul Permintaan Sektor Industri)
JICA	Japan International Cooperation Agency
LNG	liquefied natural gas
LP	Linier Programming
LPG	liquefied petroleum gas
MAM	Macroeconomics Activity Module (Modul Makroekonomi)
MFO	Marine Fuel Oil
MySQL	My Structured Query Language
NEMS	National Energi model System
NGTDM	Natural Gas Transmission and Distribution Module (Modul Transmisi dan Distribusi Gas Alam)
OGSM	Oil and Gas Supply Module (Modul Penyediaan Minyak dan Gas)
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto
PPh	Pajak Penghasilan
PPN	Pajak Pertambahan Nilai
PSM	Petroleum Refinery Sector Module (Modul Kilang BBM)
RFM	Renewable Fuel Module (Modul Energi Terbarukan)
RSDM	Residential Sector Demand Module (Modul Permintaan Sektor Rumah Tangga)
TSDM	Transportation Sector Demand Module (Modul Permintaan Sektor Transportasi)
UI	User Interface
VBA	Visual Basic for Applications

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

I2E3M (Indonesian Integrated Energi, Economic and Environment Modeling) merupakan sistem pemodelan komputer yang mengintegrasikan Permintaan, Konversi dan Pasokan energi di Indonesia. I2E3M juga memasukkan dampak ekonomi dan lingkungan terutama emisi gas rumah kaca yang berasal dari penggunaan energi. I2E3M pertama kali dikembangkan oleh Institut Indonesia untuk Ekonomi Energi (IIEE) pada tahun 2003 dengan mengadopsi struktur dasar National Energi Model System (NEMS) yang dikembangkan oleh Departemen Energi Amerika Serikat.

Sama halnya dengan NEMS, struktur I2E3M menggunakan pendekatan modular yang terdiri dari 14 modul untuk mewakili sektor pasokan, konversi, permintaan, lingkungan, kegiatan ekonomi, harga internasional dan integrator. Pada tahun 2003, I2E3M pernah digunakan untuk Kajian perkiraan permintaan energi primer di sistem kelistrikan Jawa-Bali dan dampaknya terhadap penerapan pasar listrik yang kompetitif. Selain itu I2E3M juga pernah digunakan untuk melakukan Kajian penggunaan Gas Alam di Indonesia.

1.2 Tujuan

I2E3M dirancang untuk memproyeksikan produksi, impor, konversi, konsumsi dan harga dari energi berdasarkan asumsi dari kondisi makroekonomi dan faktor keuangan di Indonesia, Harga energi di dunia internasional dan Ketersediaan sumber energi di dalam negeri.

1.3 Metodologi Pengerjaan

Metodologi pengerjaan I2E3M secara garis besar dibagi menjadi 2 (dua), yakni meninjau kembali I2E3M yang telah ada sebelumnya (versi awal) serta perbaikan dan pengembangan I2E3M. Peninjauan kembali I2E3M yang telah ada sebelumnya dilakukan guna mengidentifikasi berbagai kekurangan I2E3M yang telah ada untuk selanjutnya dijadikan sebagai bahan masukan terhadap perbaikan dan pengembangan I2E3M.

Dalam melakukan perbaikan dan pengembangan I2E3M, dilakukan oleh Tim yang terdiri dari *Team Leader (Project Management)*, *Modeler*, *Programmer* dan pengumpul data. Biasanya anggota tim melakukan diskusi setiap minggunya untuk memaparkan hasil pekerjaan, menyesuaikan hasil pekerjaan diantara anggota tim, serta target pekerjaan selanjutnya yang akan dicapai. Mengingat hasil pekerjaan antara anggota tim yang satu terkait dengan anggota tim lainnya, maka untuk mempermudah berbagi hasil pekerjaan, seluruh hasil pekerjaan disimpan dalam file penyimpanan bersama yakni *google drive*. Pemaparan kemajuan hasil pekerjaan kepada Bappenas biasanya dilakukan setiap 2 (dua) minggu sekali.

1.4 Pengembangan I2E3M

1.4.1 I2E3M versi Awal

I2E3M versi awal dikembangkan pertama kali pada tahun 2003 dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic (VB). Perangkat lunak yang digunakan untuk perhitungan linier programming I2E3M versi awal adalah GLPK (*GNU Linier Programming Kit*) versi 3.xx. Sementara *user interface* dari I2E3M ini menggunakan Microsoft Excel.

Jumlah modul dari I2E3M versi awal yakni 11 modul, terdiri dari: modul rumah tangga, komersial, industri, transportasi, ketenagalistrikan, kilang, minyak dan gas bumi, batubara, transmisi dan distribusi gas bumi, makroekonomi dan aktivitas energi internasional. Hasil evaluasi terhadap I2E3M versi awal adalah sebagai berikut:

- 1) Jumlah wilayah cakupan I2E3M hanya untuk 15 wilayah (Indonesia dibagi kedalam 15 wilayah), jumlah wilayah ini tidak dapat diubah karena merupakan suatu *hard code* didalam *source code* I2E3M.
- 2) Manajemen data yang rigid.
- 3) Isu konsistensi
Meningkat jumlah, nama dan jenis energi serta wilayah ditentukan secara manual, maka seringkali tidak sama antara nama yang diinputkan dengan nama yang diminta berdasarkan *source code* yang telah dibuat. Misalnya ketika mengisi jenis energi dengan tulisan "KERO", padahal *source code* yang telah dibuat minta "KEROSENE", maka I2E3M menganggap hal tersebut merupakan suatu hal yang salah.
- 4) Penggunaan GLPK versi lama (versi 3.xx)
- 5) Penggunaan GLPK versi lama memiliki beberapa kekurangan, diantaranya ketidakmampuan dalam membuat format *output* serta kurang efisien bila dibandingkan dengan versi terbaru.
- 6) Belum adanya *error handling* yang baik
- 7) Berbedanya pembagian wilayah sektor permintaan, pasokan energi primer, kilang dan ketenagalistrikan.
- 8) Makro tidak secara lengkap tersedia untuk membuat sheets yang dibutuhkan
- 9) Belum adanya mekanisme pemilihan modul-modul yang akan dijalankan, hal ini berarti dalam menjalankan I2E3M semua modul harus dipilih/dijalankan.
- 10) Belum adanya mekanisme cut-off atau interupsi pada saat proses sedang berjalan

1.4.2 I2E3M Versi Pengembangan

I2E3M yang saat ini sedang dikembangkan akan memperbaiki berbagai kelemahan I2E3M versi awal seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Selain itu saat ini I2E3M juga sudah terhubung dengan *database* yang akan lebih mempermudah dalam pengelolaan data dan menangani masalah konsistensi.

Pada I2E3M versi pengembangan dilakukan pula tinjauan ulang terhadap persamaan matematika dan *source code* masing-masing modul. Juga ditambahkan 2 (dua) modul baru yakni modul energi terbarukan (*Renewable Fuel Module/RFM*) dan modul lingkungan (*Environmental Module/EM*).

1.5 Sistematika Laporan

Laporan ini terdiri dari 5 (lima) bagian, bagian pertama adalah Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang dan tujuan dari I2E3M, metodologi yang digunakan dalam pengerjaan I2E3M, pengembangan I2E3M yang menggambarkan hasil evaluasi terhadap I2E3M awal serta bagian-bagian I2E3M yang sedang dikembangkan.

Bagian kedua menyediakan informasi terkait dengan panduan model (*Model Manual*) I2E3M, didalam bagian tersebut dijelaskan mengenai struktur I2E3M, penjelasan singkat masing-masing modul serta lampiran dari bagian ini yang berisi persamaan matematika dan hubungan antar modul didalam I2E3M.

Bagian ketiga berisi tentang panduan *software*(*Software Manual*)I2E3M, didalam *software manual*akan dijelaskan mengenai desain arsitektural dari I2E3M yang terdiri dari 3 (tiga) komponen utama, yakni *User Interface*, *Data Storage* dan *Computation*. *User interface* memuat *Desktop User Interface* dan *Excel Interface* digunakan sebagai antar muka yang bersentuhan langsung dengan pengguna. *Data storage* mengandung MySQL database sebagai komponen penyimpanan data. Komponen *Computation* mengandung Integrator Module, GLPK Interpreter dan Module Script.

Bagian keempat, kesimpulan dan rekomendasi.

1.6 Deliverable

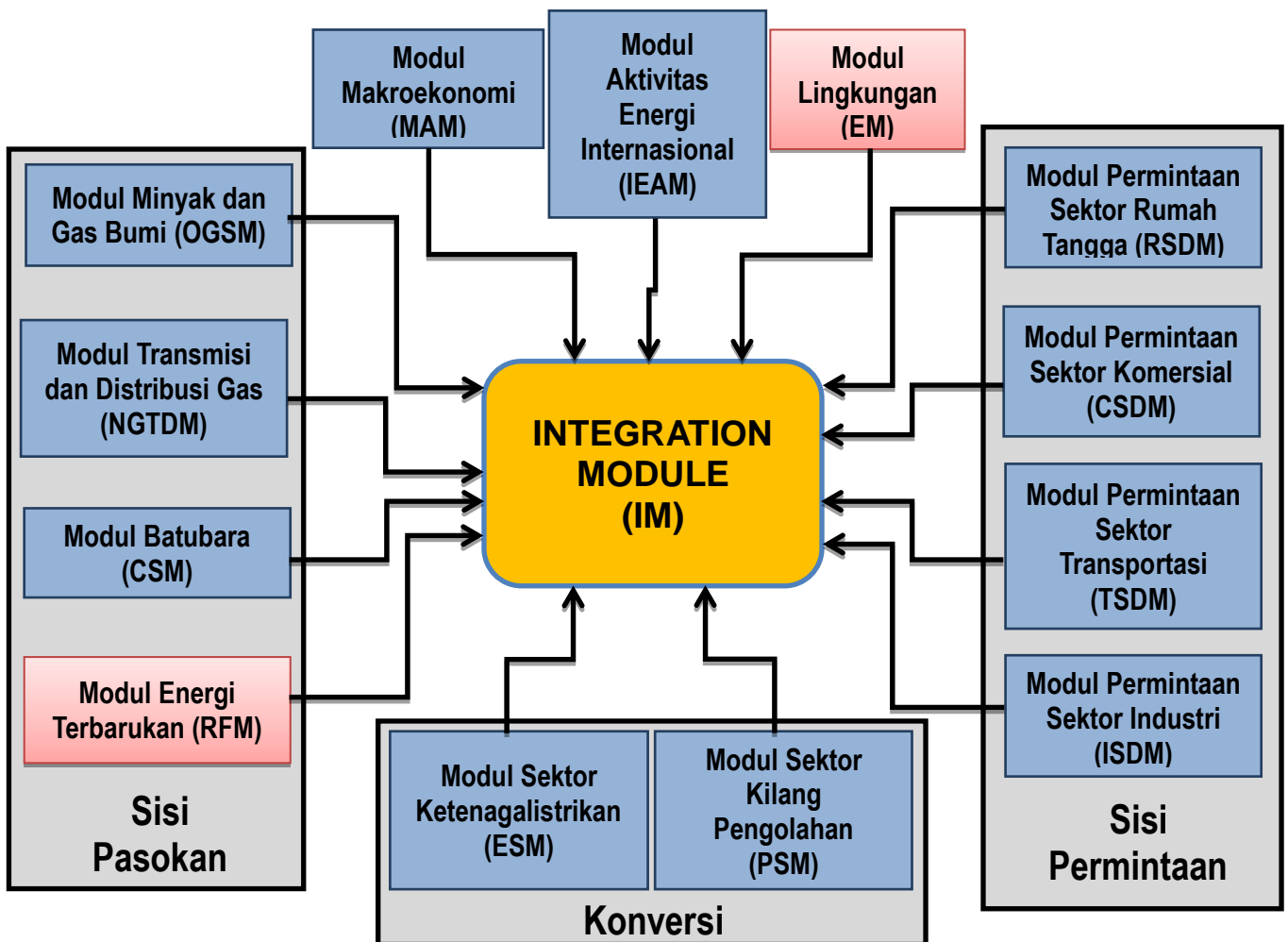
Berdasarkan kontrak kerja antara JICA dengan anggota Tim, laporan ini merupakan *deliverable* ke-6 untuk Rachmat Sugandi Hamdani, *deliverable* ke-3 untuk Bobby A.T. Wattimena, *deliverable* ke-2 untuk Azis Pusakantara, Jimmy Merari dan Edwin Yudayana.

II. PANDUAN MODEL I2E3M

2.1 Struktur I2E3M

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa struktur I2E3M diadopsi dari struktur *National Energi Modeling System* (NEMS). Struktur I2E3M menggunakan pendekatan modular yang terdiri dari modul integrasi, pasokan, konversi, permintaan, aktivitas energi internasional, makroekonomi dan modul lingkungan. I2E3M terdiri dari 4 (empat) modul pasokan (minyak dan gas bumi, batubara, transmisi dan distribusi gas bumi dan energi terbarukan), 2 (dua) modul konversi (ketenagalistrikan dan kilang), 4 (empat) modul permintaan (rumah tangga, komersial, industri dan transportasi), 1 (satu) modul makroekonomi, 1 (satu) model aktivitas energi internasional, 1 (satu) modul lingkungan dan 1 (satu) modul integrasi (**Gambar 1**).

Modul integrasi (IM) memiliki peran penting dalam mendistribusikan data dari satu modul ke modul lainnya, dan menemukan solusi ekuilibrium berdasarkan nilai toleransi tertentu. Fungsi lain dari IM adalah untuk mengekstrak berbagai data yang dihasilkan untuk membuat laporan akhir dari modul.



Gambar 1. Struktur IIEEM

Tabel 1. Input-Ouput I2E3M

Modul-Modul	Output	Input dari I2E3M	User Input
Permintaan Sektor Rumah Tangga (RSDM)	- Kebutuhan masing-masing energi sektor Rumah Tangga	- Harga dari masing-masing energi	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah populasi/Rumah Tangga - Intensitas penggunaan energi ❖ Batasan pemakaian bahan bakar <ul style="list-style-type: none"> - Permintaan minimum - Permintaan maksimum - Pangsa minimum - Pangsa maksimum
Permintaan Sektor Komersial (CSDM)	- Kebutuhan masing-masing energi sektor Komersial	- Harga dari masing-masing energi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Besaran-besaran aktivitas <ul style="list-style-type: none"> - Nilai PDRB - Nilai intensitas penggunaan energi dalam pembentukan PDRB ❖ Batasan pemakaian bahan bakar <ul style="list-style-type: none"> - Permintaan minimum - Permintaan maksimum - Pangsa minimum - Pangsa maksimum
Permintaan Sektor Industri (ISDM)	- Kebutuhan masing-masing energi sektor Industri	- Harga dari masing-masing energi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Besaran-besaran aktivitas: <ul style="list-style-type: none"> - PDRB dari masing-masing jenis industri - Intensitas penggunaan energi ❖ Batasan pemakaian bahan bakar <ul style="list-style-type: none"> - Permintaan minimum - Permintaan maksimum - Pangsa minimum - Pangsa maksimum
Permintaan Sektor Transportasi (TSDM)	- Kebutuhan masing-masing energi sektor Transportasi	- Harga dari masing-masing energi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Besaran-besaran aktivitas: <ul style="list-style-type: none"> - Jumlah populasi dari masing-masing jenis kendaraan - Intensitas penggunaan bahan bakar ❖ Batasan pemakaian bahan bakar <ul style="list-style-type: none"> - Permintaan minimum - Permintaan maksimum - Pangsa minimum - Pangsa maksimum

Tabel 1. Input-Ouput I2E3M (Lanjutan)

Modul-Modul	Output	Input dari I2E3M	User Input
Ketenagalistrikan	<ul style="list-style-type: none"> - Harga listrik industri migas - Total kebutuhan gas sektor ketenagalistrikan - Kebutuhan gas musim hujan on peak - Kebutuhan gas musim hujan off peak - Permintaan MFO - Permintaan HSD - Harga listrik industri migas - Permintaan batubaraharga listrik sektor industri 	<ul style="list-style-type: none"> - Harga gas alam - Pasokan MFO - Pasokan HSD - Harga MFO - Harga HSD - Pasokan batubara - Harga batubara - Kebutuhan listrik sektor industri - Kebutuhan listrik sektor rumah tangga - Kebutuhan listrik sektor komersial 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Data Teknis Ketenagalistrikan: <ul style="list-style-type: none"> - Perkiraan beban puncak (peak load) - Perkiraan Load Factor - Perkiraan Reserve Margin - Perkiraan Transmission/Distribution Loss - Jangka waktu dari masing-masing blok normalisasi chronological load curve (CLC) harian - Data normalisasi CLC harian - Nama pembangkit yang ada saat ini beserta data teknis lainnya - Jenis pembangkit candidate beserta data teknis lainnya - Jenis bahan bakar yang dipergunakan oleh pembangkit - Jumlah musim dalam satu tahun - Opsi demand-side management (DSM) yang akan digunakan ❖ Data Biaya Ketenagalistrikan <ul style="list-style-type: none"> - Diskon faktor atau interest rate - Biaya kapital bagi pembangkit candidate - Biaya tetap operation and maintenance (O&M) - Biaya variabel operasi - Biaya opsi DSM - Biaya bahan bakar ❖ Data Lain-Lain <ul style="list-style-type: none"> - Data faktor emisi dari masing-masing jenis pembangkit - Data perkiraan emisi dari sektor ketenagalistrikan

Tabel 1. Input-Ouput I2E3M (Lanjutan)

Modul-Modul	Output	Input dari I2E3M	User Input
Kilang (PSM)	<ul style="list-style-type: none"> - Kebutuhan minyak mentah dan gas bumi - Harga produk kilang 	<ul style="list-style-type: none"> - Kebutuhan Minyak dan Gas Bumi - Harga minyak mentah dan gas bumi - Harga minyak mentah dunia - Harga minyak impor 	
Pasokan Minyak dan Gas Bumi (OGSM)	<ul style="list-style-type: none"> - Total pasokan minyak - Harga rata-rata minyak mentah - Pasokan Gas Bumi - Biaya produksi Gas Bumi 	<ul style="list-style-type: none"> - Kebutuhan Minyak mentah - Kebutuhan Gas Bumi - Jumlah pasokan minyak mentah impor - Harga minyak mentah impor 	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya produksi minyak mentah - Biaya transportasi minyak mentah domestik - Biaya transportasi minyak impor
Pasokan Batubara (CSM)	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah pasokan dari jenis batubara - Tingkat harga pada titik mulut tambang 	<ul style="list-style-type: none"> - Permintaan jenis batubara 	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya transportasi dari wilayah pasokan ke wilayah permintaan - Biaya pengolahan per unit batubara yang diekspor
Transmisi dan Distribusi Gas Alam (NGTDM)	<ul style="list-style-type: none"> - Ketersediaan jaringan pipa atau terminal LNG 	<ul style="list-style-type: none"> - Kebutuhan Gas - Pasokan dan tingkat biaya produksi Gas Bumi 	<ul style="list-style-type: none"> - Apakah tersedia jaringan pipa - Apakah tersedia terminal LNG
Energi Terbarukan (RFM)	<ul style="list-style-type: none"> - Target pangsa Energi Terbarukan dari sektor rumah tangga, komersial, industri, transportasi dan ketenagalistrikan 	<ul style="list-style-type: none"> - Target pangsa Energi Terbarukan dari sektor rumah tangga, komersial, industri, transportasi dan ketenagalistrikan 	
Makroekonomi (MAM)	<ul style="list-style-type: none"> - Tingkat discount factor - Nilai tukar dengan US Dollar - Tingkat pertumbuhan GDP - Pajak-pajak (PPN + PPh) 		<ul style="list-style-type: none"> - Tingkat discount factor - Nilai tukar dengan US Dollar - Tingkat pertumbuhan GDP - Pajak-pajak (PPN + PPh)
Aktivitas Energi Internasional (IEAM)	<ul style="list-style-type: none"> - Harga internasional minyak bumi, - Harga internasional produk kilang - Harga internasional gas bumi (LNG) 		<ul style="list-style-type: none"> - Harga internasional minyak bumi, - Harga internasional produk kilang - Harga internasional gas bumi (LNG)
Lingkungan (EM)	<ul style="list-style-type: none"> - Batasan Emisi Gas Rumah Kaca dari sector rumah tangga, komersial, transportasi, industry dan ketenagalistrikan 	<ul style="list-style-type: none"> - Batasan Emisi Gas Rumah Kaca dari sector rumah tangga, komersial, transportasi, industry dan ketenagalistrikan 	

2.2 Modul-Modul I2E3M

2.2.1 Modul Rumah Tangga (RSDM)

Fungsi modul ini adalah memberikan informasi nilai permintaan energi dari sektor rumah tangga untuk setiap wilayah pengamatan berdasarkan nilai-nilai variable penggerak utama (*driving variables*) untuk masing-masing wilayah, intensitas penggunaan energi untuk masing-masing variable penggerak utama dan harga-harga energi.

Jenis-jenis energi/bahan bakar yang digunakan pada sektor rumah tangga ditentukan berdasarkan tabel jenis bahan bakar yang tertera pada *database*.

Variabel-variabel penggerak utama pada sektor rumah tangga (seperti populasi, rumah tangga, dsb) diambil dari tabel variabel penggerak utama yang tertera pada *database*.

Permintaan dari kelima jenis bahan bakar/energi ini dimodelkan dengan menggunakan optimisasi berdasarkan biaya terendah. Pada modul RSDM ini, variabel-variabel inti yang mempengaruhi permintaan tersebut adalah sebagai berikut:

Variabel penggerak utama (populasi, jumlah rumah tangga, dsb.) di masing-masing wilayah pengamatan;

Intensitas penggunaan energi total;

Harga masing-masing bahan bakar/energi (net price) dan substitusinya.

Adapun hubungan modul Rumah Tangga dengan modul I2E3M lainnya serta persamaan matematika dari modul Rumah Tangga secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A1**.

2.2.2 Modul Komersial (CSDM)

Fungsi modul komersial adalah memberikan informasi nilai permintaan bahan bakar dan tenaga listrik dari sektor komersial untuk setiap wilayah pengamatan berdasarkan nilai variabel penggerak utama sektor komersial untuk masing-masing wilayah, intensitas penggunaan energi dan harga-harga energi yang digunakan

Permintaan energi pada modul ini ini dimodelkan dengan menggunakan optimisasi berdasarkan biaya terendah. Pada modul CSDM ini, variabel-variabel inti yang mempengaruhi permintaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. PDRB dari masing-masing kelompok sub-sektor komersial pada masing-masing wilayah permintaan (pengamatan)
2. Intensitas penggunaan energi total
3. Harga masing-masing bahan bakar/energi (net price) dan substitusinya.

Adapun hubungan modul Komersial dengan modul I2E3M lainnya serta persamaan matematika dari modul Komersial secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A2**.

2.2.3 Modul Industri (ISDM)

Modul Industri memberikan informasi permintaan bahan bakar dan feedstock sektor industri untuk masing-masing wilayah berdasarkan nilai PDRB sektor industri atau variable

penggerak utama lainnya, intensitas penggunaan bahan bakar atau feedstock dan harga bahan bakar dan/atau feedstock.

Penggunaan bahan bakar/energi di sektor industri Indonesia dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Digunakan sebagai bahan bakar,
2. Digunakan sebagai bahan baku (feedstock), contohnya adalah gas bumi dan minyak tanah.

Permintaan energi dan bahan baku modul ini dimodelkan dengan menggunakan optimisasi berdasarkan biaya terendah. Pada modul industri ini, variabel-variabel inti yang mempengaruhi permintaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Produk domestik regional bruto (PDRB) dari masing-masing kelompok industri pada masing-masing wilayah permintaan
2. Tingkat intensitas pemakaian bahan bakar/energi dari masing-masing kelompok industri
3. Harga masing-masing bahan bakar/energi (net price) dan barang substitusinya
4. Khusus untuk pemakaian sebagai bahan baku, pada model ini diasumsikan bahwa tidak akan terjadi substitusi antara masing-masing kategori bahan bakar/energi yang dipergunakan sebagai bahan baku, yaitu antara gas alam dan minyak tanah.

Adapun hubungan modul Industri dengan modul I2E3M lainnya serta persamaan matematika

dari modul Industri secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A3**.

2.2.4 Modul Transportasi (TSDM)

Modul Transportasi memberikan informasi tingkat permintaan bahan bakar sektor transportasi untuk masing-masing wilayah pengamatan berdasarkan populasi setiap jenis kendaraan yang ada atau variabel penggerak utama lainnya, intensitas penggunaan bahan bakar dan harga bahan bakar.

Permintaan energi di modul ini dimodelkan dengan menggunakan optimisasi berdasarkan biaya terendah. Pada modul TSDM ini, variabel-variabel inti yang mempengaruhi permintaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tingkat populasi dari masing-masing kelompok kendaraan pada masing-masing wilayah permintaan (atau variabel penggerak utama lainnya, seperti PDB, dsb.)
2. Intensitas penggunaan energi total
3. Harga masing-masing bahan bakar/energi (harga akhir) dan barang substitusinya

Adapun hubungan modul Transportasi dengan modul I2E3M lainnya serta persamaan matematika dari modul Transportasi secara rinci dijelaskan pada Lampiran A4.

2.2.5 Modul Ketenagalistrikan (ESM)

Modul ESM berfungsi memperkirakan kebutuhan pembangkit baru untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik dalam suatu sistim ketenagalistrikan. Modul ini bekerja berdasarkan

model optimisasi dengan prinsip least cost dengan batasan-batasan (constraints) yang harus dipenuhi. Biaya yang diperhitungkan dalam Modul ini adalah:

1. Biaya kapital pembangunan pembangkit baru
2. Biaya operasi dan perawatan (O&M costs)
3. Biaya bahan bakar
4. Biaya variabel lainnya yang berkaitan dengan kegiatan pembangkitan tenaga listrik
5. Biaya opsi demand-side management (DSM)

Sedangkan untuk batasan-batasan yang harus dipenuhi adalah:

1. Pemenuhan kebutuhan (peak load demand)
2. Ketersediaan tenaga listrik dari masing-masing pembangkit (availability)
3. Reliabilitas sistim
4. Ketersediaan tenaga listrik bagi keseluruhan sistim
5. Ketersediaan tenaga listrik dari pembangkit tenaga air
6. Kapasitas potensial maksimum
7. Ketersediaan sumber-sumber energi pembangkit
8. Batasan Kondisi Ketersediaan Energi Dalam Sistim Bauran Hidro-Thermal
9. Ketersediaan tenaga listrik dari luar sistim
10. Emisi dari sistim pembangkitan
11. Opsi DSM

Model optimisasi yang dipergunakan dalam Modul ini adalah mixed integer programming (MIP) yang memiliki algoritma yang berbeda dengan linear programming yang seringkali dipergunakan.

Adapun hubungan modul Ketenagalistrikan dengan modul I2E3M lainnya, model matematika, struktur model dan data inventory dari modul Ketenagalistrikan secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A5**.

2.2.6 Modul Kilang (PSM)

Modul Kilang meminimalkan biaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen akan produk olahan gas bumi dan minyak bumi dari kilang domestik. Modul ini bekerja berdasarkan model optimisasi dengan prinsip least cost dengan batasan-batasan (constraints) yang harus dipenuhi.

Biaya yang diperhitungkan dalam modul ini adalah:

1. Biaya operasi unit proses pada kilang
2. Biaya transportasi dan distribusi dari Unit Pengolahan ke Depot.

Sedangkan batasan-batasan yang harus dipenuhi adalah:

1. Pemenuhan kebutuhan (demand) masing-masing jenis produk olahan
2. Ketersediaan (availability) dari minyak mentah
3. Reliabilitas kilang
4. Kapasitas potensial maksimum
5. Ketersediaan produk olahan dari luar system

Adapun hubungan modul Kilang dengan modul I2E3M lainnya serta alur informasi didalam Modul KilangKilang secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A6**.

2.2.7 Modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM)

Pada model I2E3M, modul minyak dan gas bumi menghasilkan besarnya produksi minyak dan gas bumi (migas) dari masing-masing wilayah pasokan. Produksi minyak bumi akan diteruskan kepada modul kilang (PSM) sedangkan produksi gas bumi akan diteruskan ke modul Transmisi dan Distribusi Gas Alam(NGTDM). Selain jumlah produksi, modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM) juga akan memberikan informasi mengenai biaya produksi dari masing-masing jenis cadangan migas, dimana informasi ini akan juga diteruskan ke modul Kilang(PSM) dan modul Transmisi dan Distribusi Gas Alam(NGTDM) untuk digunakan dalam menghitung total biaya pengadaan dari kedua jenis energi primer tersebut.

Adapun hubungan modul Minyak dan Gas Bumi dengan modul I2E3M lainnya serta proses didalam modul Minyak dan Gas Bumisecara rinci dijelaskan pada **Lampiran A7**.

2.2.8 Modul Batubara (CSM)

Modul CSM pada model I2E3Makan memberikan informasi jumlah produksi dan biaya produksi dari masing-masing wilayah pasokan. Modul CSM ini berhubungan erat dengan modul ESM dan modul ISDM. Permintaan batubara dari sektor ketenagalistrikan dari masing-masing wilayah permintaan ditambah dengan kebutuhan langsung dari sektor industri dari wilayah tersebut akan menjadi total permintaan batubara wilayah permintaan tersebut.

Pada modul CSM ini, masing-masing wilayah permintaan memiliki wilayah pasokan tertentu sehingga dapat dihindari pasokan dari wilayah yang tidak semestinya. Selain mengeluarkan tingkat biaya produksi dan jumlah produksi batubara, modul batubarajuga memiliki kemampuan untuk mendistribusikan batubara secara optimal ke wilayah-wilayah yang memerlukan melalui pendekatan linier programming (LP). Model LP yang digunakan adalah minimisasi biaya total, yang terdiri dari biaya produksi, biaya transportasi dan biaya pre-processing (khusus untuk tujuan ekspor).

Adapun hubungan modul Batubara dengan modul I2E3M lainnya, persamaan matematika serta proses didalam modul Batubarasecara rinci dijelaskan pada **Lampiran A8**.

2.2.9 Modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM)

Berlainan dengan sektor pasokan lainnya, pasokan gas bumi ditransmisikan dan didistribusikan terpisah melalui modul transportasi dan distribusi gas bumi (NGTDM). Permintaan gas dari masing-masing sektor permintaan akan dikelompokkan kedalam masing-masing wilayah permintaan. Dari masing-masing wilayah permintaan tersebut akan dihubungkan dengan masing-masing wilayah pasokan melalui jenis transportasi yang tersedia, yaitu pipa dan/atau terminal LNG. Modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM)akan memberikan informasi besarnya kebutuhan gas bumi dari masing-masing

wilayah permintaan ke wilayah pasokan gas bumi yang terdapat pada modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM).

Selanjutnya modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM) akan memberikan besarnya pasokan yang dapat dipenuhi oleh masing-masing wilayah pasokan dan tingkat biaya produksinya. Informasi dari modul Minyak dan Gas Bumi (OGSM) akan diterima oleh modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM) dan akan diteruskan ke masing-masing modul permintaan setelah ditambah biaya transmisi dan distribusi serta pajak dan komponen keuangan lainnya.

Pada modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM) ini, jenis transportasi (transmisi) gas bumi yang utama dapat dilakukan menggunakan jaringan pipa, terminal LNG atau keduanya. Modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi (NGTDM) akan memeriksa apakah tersedia transportasi gas bumi dari wilayah pasokan ke wilayah permintaan.

Adapun hubungan modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi dengan modul I2E3M lainnya, serta proses didalam modul Transmisi dan Distribusi Gas Bumi secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A9**.

2.2.10 Modul Energi Terbarukan (RFM)

Modul Energi Terbarukan (RFM) berfungsi menyediakan informasi terkait dengan target pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan (EBT). Di dalam modul ini terdapat informasi mengenai target masing-masing jenis energi baru dan terbarukan (EBT) di masing-masing sektor permintaan dan ketenagalistrikan untuk masing-masing wilayah. Selain itu, RFM akan memberikan informasi terkait potensi maksimum dari masing-masing jenis EBT yang akan digunakan sebagai batasan di modul yang memanfaatkannya.

Adapun hubungan dan interaksi modul Energi Terbarukan dengan modul I2E3M lainnya, secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A10**.

2.2.11 Modul Makro Ekonomi (MAM)

Memberikan informasi besaran-besaran makroekonomi yang akan dipakai oleh modul-modul I2E3M lainnya. Besaran-besaran makro ekonomi ini meliputi:

1. Tingkat faktor diskonto (discount rate)
2. Nilai tukar Rupiah dengan US Dollar
3. Tingkat pertumbuhan PDB
4. Pajak-pajak (PPN, PPh)

Adapun hubungan dan interaksi modul Energi Terbarukan dengan modul I2E3M lainnya, secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A11**.

2.2.12 Modul Aktivitas Energi Internasional (IEAM)

Modul Aktivitas Energi Internasional IEAM berfungsi memberikan informasi harga internasional dari minyak bumi, produk kilang dan gas bumi (LNG).

Adapun hubungan dan interaksi modul Aktivitas Energi Internasional dengan modul I2E3M lainnya, secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A12**.

2.2.13 Modul Lingkungan Hidup (EM)

Modul Lingkungan (EM) berfungsi menyediakan informasi terkait dengan target pembatasan emisi gas rumah kaca (GRK). Di dalam Modul Lingkungan terdapat informasi mengenai target pembatasan masing-masing jenis GRK di masing-masing sektor permintaan dan ketenagalistrikan untuk masing-masing wilayah.

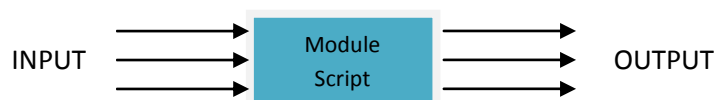
Adapun hubungan dan interaksi modul Lingkungan Hidup dengan modul I2E3M lainnya, secara rinci dijelaskan pada **Lampiran A13**.

2.2.14 Module Script dan ModulIntegrasi

2.2.14.1 Module Script

Model matematis dari suplai dan demand yang diuraikan di atas, diekspresikan dalam bahasa pemrograman GMPL (GNU Mathematical Programming Language). Setiap modul dituliskan dalam unit-unit kode yang independen. Secara fisik, masing-masing modul memiliki file kode sumber tersendiri. Untuk selanjutnya, file-file ini disebut sebagai *module script*.

Module Script dijalankan dengan bantuan interpreter GLPK (GNU Linear Programming Kit) untuk mencari solusi optimal dari sistem persamaan linear yang menggambarkan dinamika suplai dan demand. *Module Script* dapat diilustrasikan sebagai sebuah operator matematika yang mengolah input menjadi output, seperti gambar berikut ini :



Module Script berisi mekanisme proses optimasi yang bekerja atas input yang diberikan padanya, tanpa mempedulikan dari mana input itu berasal. Secara teknis, *Module Script* akan mengambil data dari tabel input yang telah dialokasikan untuk modul tersebut. Data yang diterima oleh *Module Script* dapat berasal dari input data pengguna atau output dari modul lain. Proses pengelolaan input dan output antar *Module Script* ditangani oleh Modul Integrator.

2.2.14.2 Modul Integrasi

Module Integrasi adalah program yang menjadi backbone bagi jalannya *Module Script*. Program ini menjalankan beberapa fungsi:

1. Mengatur jalannya iterasi untuk setiap modul

Model I2E3M mengandung modul-modul yang menggambarkan dinamika supply dan demand. Hukum Permintaan dan Penawaran menjelaskan hubungan antara pergerakan harga yang berkaitan dengan pergerakan permintaan. Kedua pergerakan itu akan mengerucut pada suatu kesetimbangan yang menghasilkan suatu nilai harga berdasarkan mekanisme pasar.

Dinamika proses penawaran dan permintaan di dalam I2E3M dimodelkan sebagai proses iterasi di mana di setiap iterasi Module Integrator akan mengeksekusi Module Script dengan kondisi input-output yang berangsur-angsur menuju nilai kesetimbangan. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Module Integrator mengeksekusi Module Script demand/permintaan. Input dari modul ini adalah nilai harga dari produk energi. Modul permintaan akan menjalankan optimasi pemenuhan kebutuhan energi berdasarkan informasi harga tadi. Pada kondisi awal, informasi harga mungkin belum tersedia sehingga memiliki nilai nol. Dalam kondisi harga sama dengan nol, optimasi akan menghasilkan nilai permintaan yang besar;
- b. Module Integrator menyimpan output dari proses optimasi modul demand;
- c. Module Integrator mengeksekusi Module Script supply. Input yang diberikan adalah nilai permintaan yang diperoleh pada langkah 2;
- d. Module Supply menjalankan proses optimasi berdasarkan input yang diterima. Sesuai dengan Hukum Permintaan dan Penawaran, nilai permintaan yang besar akan diikuti dengan kenaikan harga. Output dari proses optimasi ini adalah nilai harga energi;
- e. Module Integrator menyimpan output dari proses optimasi modul supply;
- f. Di tahap ini, sistem telah menjalankan satu iterasi demand dan supply;
- g. Module Integrator mengeksekusi kembali Module Demand sebagai iterasi kedua. Kali ini nilai harga yang menjadi input bagi modul demand adalah nilai yang diperoleh pada langkah 5;
- h. Module Demand menjalankan optimasi berdasarkan nilai harga yang baru. Sesuai dengan Hukum Permintaan dan Penawaran, kenaikan harga akan diikuti dengan berkurangnya permintaan karena keterbatasan daya beli;
- i. Module Integrator menyimpan output dari Module Demand sebagai nilai permintaan iterasi kedua;
- j. Module Integrator mengeksekusi kembali Module Supply dengan memberikan nilai permintaan yang baru sebagai input;
- k. Module Supply menjalankan optimasi berdasarkan nilai permintaan yang baru;
- l. Demikian seterusnya proses ini berlangsung secara iteratif hingga tercapai suatu kesetimbangan/konvergensi.

2. Mengevaluasi apakah suatu iterasi sudah mencapai konvergen

Proses iterasi akan berhenti ketika telah tercapai kesetimbangan. Kondisi kesetimbangan ditentukan dengan membandingkan nilai output masing-masing modul sesuai persamaan :

$$\epsilon = \left| \frac{x - y}{x + y} \right|$$

Di mana :

X = nilai pada iterasi ke N

Y = nilai pada iterasi ke N-1

Iterasi dinyatakan telah mencapai konvergensi jika nilai ϵ telah mencapai lebih kecil dari nilai batas yang ditetapkan (antara 0.1 – 0.5)

3. Mempersiapkan input yang dibutuhkan oleh Module Script

Seperti yang diuraikan pada fungsi Modul integrasi untuk Mengatur Jalannya Iterasi, Modul Integrasi bertugas mempersiapkan input bagi Module Script sebelum dijalankan. Data-data yang dibutuhkan oleh masing-masing modul sesuai dengan perincian pada fungsi Modul integrasi untuk Mengatur Jalannya Iterasi.

4. Menyimpan output dari Module Script untuk selanjutnya diproses menghasilkan report.

Setelah konvergensi tercapai, hasil proses optimisasi dari seluruh modul diolah lebih lanjut untuk menghasilkan rangkuman hasil optimisasi/report (Tabel 2).

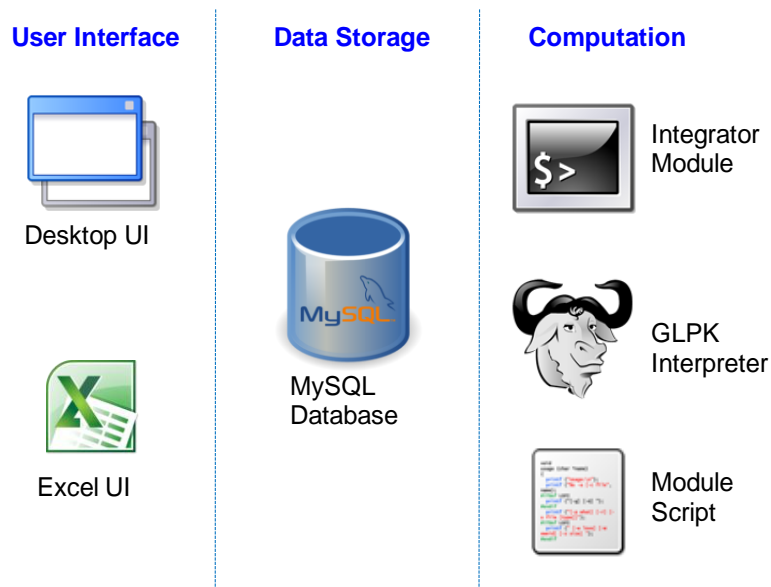
Tabel 2. Rangkuman Hasil Optimisasi dan Deskripsinya

No	Rangkuman	Deskripsi
1	Data cadangan dan produksi energi primer	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk masing-masing energi primer : minyak mentah, gas bumi, batu bara. Data diperoleh dari modul OGSM dan CSM.
2	Export - Import	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk energi primer dan sekunder. Energi primer : minyak mentah, gas bumi. Energi sekunder : bensin premium, minyak tanah, minyak diesel, LPG, ADO, MFO. Data diperoleh dari modul PSM, NGTDM, dan OGSM.
3	Data pemakaian energi	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk energi primer, energi sekunder dan listrik. Data diperoleh dari modul RSDM, CSDM, ISDM, TSDM, dan ESM.
4	Harga-harga	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk setiap jenis energi dan sektor. Data diperoleh dari PSM, ESM, OGSM, NGTDM, CSM.
6	Penggunaan energi per sektor	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk setiap jenis energi dan sektor. Data diperoleh dari modul RSDM, CSDM, ISDM, TSDM, dan ESM.
7	Penggunaan bahan bakar di sektor tenaga listrik	Rekapitulasi tahunan selama periode simulasi untuk setiap jenis energi. Data diperoleh dari modul ESM.

III. PANDUAN SOFTWARE I2E3M

3.1 Desain Arsitektural Software I2E3M

Software I2E3M terdiri dari beberapa komponen dengan pengelompokan seperti ditunjukkan pada gambar 2. Kelompok User Interface mengandung Desktop UI dan Excel UI yang digunakan sebagai antar muka yang bersentuhan langsung dengan pengguna. Kelompok Data Storage mengandung MySQL database sebagai komponen penyimpan data. Kelompok Computation mengandung Integrator Module, GLPK Interpreter dan Module Script yang merupakan inti utama dari aplikasi I2E3M secara keseluruhan.



Gambar 2. Komponen Software I2E3M

3.2 Desktop User Interface

Desktop User Interface adalah software berbasis desktop yang didesain untuk bekerja di atas operating system Windows. Software ini dikembangkan dalam bahasa pemrograman C# dengan memanfaatkan platform pengembangan .NET Framework 3.5. Fungsi-fungsi yang disediakan dalam Desktop UI mencakup :

1. Manajemen Data.
2. Setup Skenario
3. View rekapitulasi data hasil simulasi

3.3 Excel User Interface

Excel User Interface adalah antar muka pengguna untuk melakukan input data. Setiap modul yang ada di dalam model I2E3M memiliki satu worksheet Excel. Fasilitas spreadsheet modern yang disediakan Microsoft Excel akan mempermudah proses input data dalam jumlah besar. Fungsi-fungsi yang disediakan dalam Excel UI adalah :

1. Pengaturan form input sesuai dengan skenario yang telah didefinisikan

2. Proses upload data-data yang telah diinput ke MySQL database.
3. Proses pembangkitan Module Script sesuai dengan skenario yang telah didefinisikan.

3.4 *MySQL Database*

MySQL Database adalah pusat penyimpanan data dari seluruh aplikasi I2E3M. Data-data induk yang mencakup data region, jenis sumber energi, mata uang dan lain-lain tersimpan secara terpusat di dalam database. Dengan pendekatan ini, data-data menjadi lebih konsisten ketika digunakan di berbagai modul berbeda. Selain data induk, MySQL Database juga menyimpan data input dan output dari setiap modul. Untuk lebih jelas mengenai tabel-tabel yang ada dalam *Database* dapat dilihat pada **Lampiran B**.

3.5 *Integrator Module*

Integrator Module adalah software berbasis console yang dikembangkan dalam bahasa pemrograman C++. Software ini memanfaatkan Application Programming Interface (API) yang disediakan oleh GLPK Library, yang menyediakan fasilitas pengaturan jalannya optimisasi Linear Programming.

Integrator Module mengakses MySQL Database untuk memperoleh setting skenario yang akan dijalankan. Berdasarkan setting yang didapat, Integrator Module akan mengatur jalannya GLPK interpreter dalam mengeksekusi Module Script untuk setiap modul yang terlibat dalam skenario yang dipilih.

3.6 *GLPK Interpreter*

GLPK (GNU Linear Programming Kit) adalah software yang memiliki kemampuan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi sistem linear secara numerik. Software ini dikembangkan oleh pengembang berkebangsaan Rusia saat ia tengah menyelesaikan disertasi doktornya. Kode sumber software ini kemudian dipublikasikan sebagai open source, yang mengizinkan penggunaannya secara terbuka bagi siapa saja.

Untuk bisa dieksekusi oleh GLPK Interpreter, sistem linear yang hendak diselesaikan harus diekspresikan dalam bahasa pemrograman GMPL (GNU Mathematical Programming Language). Interpreter akan membaca definisi problem di dalam GMPL script dan melakukan optimisasi linier secara numerik.

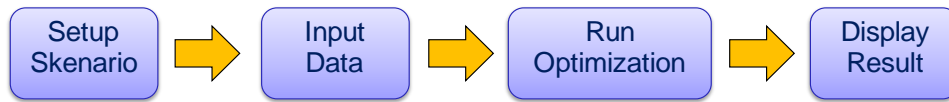
Sejak versi 4.0, GLPK menyediakan fitur untuk dapat mengakses MySQL Database sebagai data storage bagi input dan outputnya. Fitur ini dimanfaatkan semaksimal mungkin dalam I2E3M untuk memudahkan manajemen data dan mengekstrak laporan hasil optimisasi.

3.7 *Module Script*

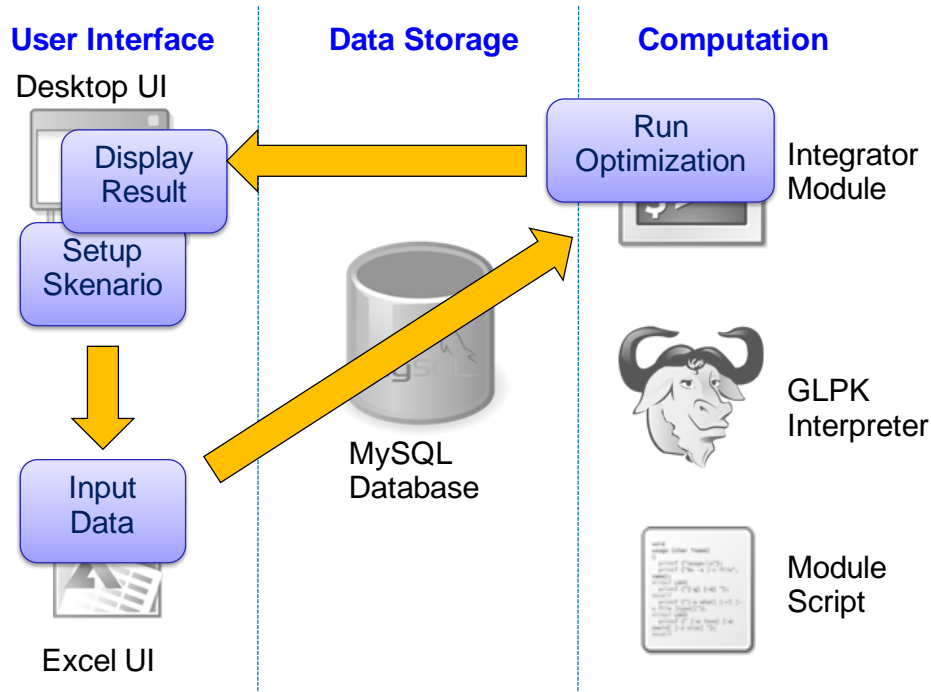
Module Script adalah kumpulan persamaan matematika yang dituangkan dalam bahasa pemrograman GMPL. Kode sumber Module Script dituliskan dalam banyak file di mana setiap file mewakili satu module. Pengguna tidak berinteraksi langsung dengan file-file script ini karena telah ditangani oleh Excel UI.

3.8 Desain Alur Kerja Pengguna

Penggunaan aplikasi I2E3M dirancang mengikuti alur kerja sebagai berikut:



Setiap tahap dijalankan pada komponen aplikasi yang bersesuaian dengan fungsinya. Bila alur kerja ini dipetakan ke diagram arsitektural aplikasi I2E3M, dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. Alur Kerja I2E3M pada Diagram Arsitektural

Sub-bab berikut ini akan menjelaskan masing-masing tahapan alur kerja.

3.8.1 Set-up Skenario

Tahap ini dilakukan menggunakan Desktop UI. Secara umum, set-up skenario meliputi pengaturan General Setting dan Module Specific Setting.

Pengaturan General Setting meliputi :

- Starting Year, tahun awal dimulainya simulasi
- Base Year, tahun yang dijadikan basis
- No of Year, banyaknya tahun yang disimulasikan
- Optimization Type, pilihan antara Annual Optimization atau Accross Year Optimization
- Epsilon, besarnya galat untuk menentukan apakah iterasi sudah konvergen
- Model Directory, folder kerja tempat menyimpan file spreadsheet untuk skenario yang bersangkutan

Pengaturan Module Specific Setting untuk masing-masing modul diuraikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 3. Pengaturan *Module Specific Setting* Pada Setiap Modul

No	Modul	Setting
1	RSDM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah permintaan • Pemilihan jenis sumber energi • Pemilihan mata uang • Pemilihan variabel penggerak
2	CSDM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah permintaan • Pemilihan jenis sumber energi • Pemilihan mata uang • Pemilihan variabel penggerak
3	ISDM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah permintaan • Pemilihan jenis sumber energi • Pemilihan mata uang • Pemilihan variabel penggerak
4	TSDM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah permintaan • Pemilihan jenis sumber energi • Pemilihan mata uang • Pemilihan variabel penggerak
5	ESM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan sistem jaringan tenaga listrik • Pemilihan jenis pembangkit listrik • Pemetaan antara sistem jaringan tenaga listrik dengan daerah permintaan • Pemilihan mata uang
6	PSM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan kilang • Pemetaan antara kilang dan daerah permintaan • Pemilihan mata uang
7	OGSM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah suplai • Pemilihan mata uang
8	CSM	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan daerah suplai • Pemilihan mata uang

Data setting yang telah diisikan akan disimpan sebagai informasi referensi ketika menjalankan optimisasi. Proses penyimpanan setting skenario dilakukan oleh Desktop UI yang meliputi langkah-langkah berikut ini :

1. Menyimpan data setting skenario ke MySQL Database
2. Mengcopy template spreadsheet ke folder kerja skenario. File spreadsheet dicopy-kan untuk setiap modul dan region yang dipilih di skenario tersebut. File-file ini dilengkapi dengan metadata untuk mengetahui konteks skenario dari masing-masing file spreadsheet (region, kode skenario, informasi koneksi database)

Di akhir tahap ini, di dalam folder kerja skenario akan terdapat file-file spreadsheet untuk mengisikan data-data di setiap modul.

3.8.2 Input Data

Tahap ini berlangsung di masing-masing file spreadsheet. Proses yang berlangsung dapat dikelompokkan lagi menjadi tiga sub-tahap:

1. Sub-Tahap Inisialisasi. Di sub-tahap ini berlangsung proses :
 - a. Membaca setting skenario yang tersimpan di MySQL database. Proses ini dijalankan oleh subrutin macro yang telah tersimpan di dalam file spreadsheet. Berdasarkan metadata yang disematkan oleh Desktop UI, subrutin macro dapat mengetahui data setting yang sesuai dengan skenario yang dimaksud.
 - b. Pembentukan format worksheet input. Setting skenario berisi hal-hal spesifik untuk modul yang bersangkutan, seperti pemilihan region, jenis sumber energi, dll. Berdasarkan setting ini, subrutin macro akan membentuk worksheet input dengan cell yang telah diformat sedemikian rupa sesuai dengan jenis data yang harus diinputkan.

Di akhir subtahap ini, file spreadsheet akan berisi susunan worksheet yang siap untuk diisi.

2. Sub-Tahap Pengisian. Di sub-tahap ini pengguna meng-inputkan seluruh data yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi.
3. Sub-Tahap Finalisasi Input. Setelah seluruh data diisikan, pengguna akan menjalankan proses finalisasi data input yang meliputi proses :
 - a. Penyimpanan data ke database. Setiap modul telah diatur untuk menyimpan data dengan sistem pengindexan yang spesifik sehingga data modul yang satu tidak akan bertukar dengan modul yang lain. Proses ini dilakukan oleh subrutin macro.
 - b. Pembentukan Module Script. Subrutin macro akan menghasilkan file-file Module Script. Module Script telah ditandai sedemikian rupa sehingga dapat mengakses MySQL Database dengan tepat, sesuai dengan alokasi skenario yang bersangkutan.

Di akhir tahap ini, folder kerja skenario akan berisi file-file Module Script yang siap dijalankan.

3.8.3 Run Simulation

Tahap ini adalah tahap inti dari keseluruhan proses aplikasi I2E3M. Integrator Module akan menjalankan GLPK Interpreter untuk mengeksekusi Module Script yang dihasilkan di tahap sebelumnya. Script dari seluruh modul dan tahun yang disimulasikan akan dieksekusi satu per satu hingga mencapai konvergen.

Di akhir tahap ini, output hasil optimisasi akan tersimpan di MySQL Database.

3.8.4 Display Report

Output hasil optimisasi masih berupa data mentah yang merupakan solusi dari persamaan matematis pemodelan *supply-demand*. Untuk memudahkan pengguna dalam menginterpretasikan hasil simulasi, data-data ini disusun ulang dalam bentuk rekapitulasi.

Proses ini berlangsung di Desktop UI. Hasil rekapitulasi dapat diekspor ke dalam format Microsoft Excel jika dibutuhkan.

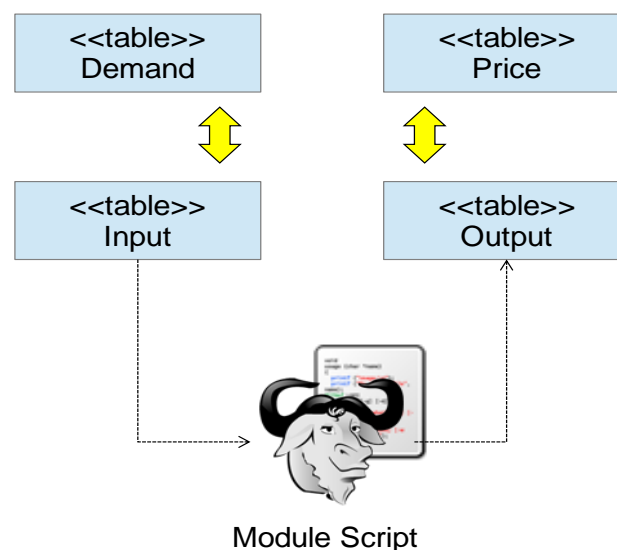
3.9 Desain Struktur Database

Tabel-tabel database I2E3M dapat dikelompokkan dalam dua bagian besar:

1. Tabel Data Induk, kumpulan tabel-tabel yang menyimpan data induk (master data) yang akan dirujuk oleh data di tabel lain. Contoh : region, jenis sumber energi, jenis mata uang, definisi variabel.
2. Tabel Data Operasional, kumpulan tabel-tabel yang menyimpan input dan output dari proses optimisasi.

Struktur Tabel Data Induk dirancang dengan pendekatan standar sistem informasi. Didahului dengan mengidentifikasi entity sesuai dengan domain aplikasi dan dilanjutkan dengan mengidentifikasi keterkaitan antar entity.

Struktur Tabel Data Operasional dirancang dengan pendekatan yang memandang Module Script sebagai blackbox seperti yang diilustrasikan pada sub-bab 2.2.14.1. Ada empat tabel besar yang terlibat dalam proses optimisasi seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Tabel di *Database* yang terlibat dalam Optimasi

Module Script mengakses tabel Input untuk mendapatkan data-data input untuk dioptimisasi. Hasil optimisasi akan disimpan di tabel Output. Tabel Input dan Tabel Output telah dilengkapi indeks berupa kolom id_module dan id_scenario sehingga seluruh modul di seluruh skenario dapat menggunakan tabel yang sama. Jumlah tabel yang harus dipelihara menjadi lebih sedikit dan memudahkan pengembangan di masa mendatang.

Output dari suatu modul dapat menjadi input bagi modul yang lain. Untuk mengakomodasi hal ini, ada dua tabel yang disiapkan sebagai buffer antar modul. Hubungan ketergantungan data antar modul telah dapat diidentifikasi hanya melalui variabel Permintaan atau Harga. Berdasarkan karakteristik ini, output optimisasi suatu modul selain disimpan di Tabel Output juga akan disimpan ke Tabel Price dan Tabel Demand, sesuai dengan tipe variabelnya. Data yang tersimpan di Tabel Price dan Table Demand ini kemudian dapat digunakan

sebagai sumber untuk mengisi Tabel Input di modul lain ketika hendak memulai proses optimisasi. Proses pemindahan data antara Input-Output dan buffer Price-Demand ditangani oleh Integrator Module dengan bantuan stored procedure yang tersimpan di MySQL Database.

Definisi lengkap struktur tabel I2E3M dituliskan dalam dokumen “Dokumentasi Struktur Database I2E3M”.

3.10 Pertimbangan Desain

Bagian ini memaparkan beberapa pertimbangan (rationale) dalam proses perancangan aplikasi I2E3M hingga tiba pada desain yang saat ini digunakan

1. Penyimpanan data input/output optimisasi dalam MySQL Database sangat signifikan mengurangi kompleksitas Integrator Module. Proses manajemen raw data yang semula manual berbasis text file menjadi lebih mudah dengan memanfaatkan SQL language. MySQL Database adalah produk open source yang sangat populer sehingga lebih menjamin ketersediaan tenaga programmer untuk pengembangan lebih jauh di masa mendatang;
2. Fungsi lain yang dilakukan di Integrator Module adalah proses transfer data antar modul. Hubungan ketergantungan antar modul sangat ditentukan oleh model matematis yang mendasari modul tersebut. Untuk lebih memudahkan modifikasi aplikasi, proses transfer data ini diimplementasikan sebagai stored procedure yang tersimpan di MySQL Database. Integrator Module hanya perlu memanggil stored procedure yang telah dikonfigurasi sebelumnya tanpa terlalu banyak mengurus detail transfer data yang berlangsung. Hal ini akan semakin menjamin kestabilan dari Integrator Module sebagai backbone aplikasi I2E3M. Modifikasi model dapat dilakukan dengan mengubah stored procedure tanpa mengubah Integrator Module;
3. Struktur Tabel Operasional terdiri dari tabel Input, Output dan dua tabel buffer : Price dan Demand. Tabel buffer dibutuhkan untuk mengakomodasi kebutuhan menjalankan optimisasi secara parsial. Ketika pengguna hanya ingin menjalankan optimisasi modul demand saja, informasi harga tidak tersedia karena modul konversi dan suplai tidak dijalankan. Untuk mengkompensasi hal ini, pengguna dapat menyuntikkan informasi harga ke tabel buffer yang kemudian akan diteruskan sebagai input bagi modul demand. Di sisi Module Script, proses optimisasi tidak mempedulikan apakah inputnya berasal dari modul suplai atau disuntikkan manual oleh pengguna. Module Script hanya bekerja dengan isi tabel Input tanpa mempedulikan dari mana data berasal. Pendekatan ini akan semakin membuat aplikasi I2E3M lebih fleksibel;
4. Antar muka pengguna terdiri dari Desktop UI dan Excel UI. Excel UI tetap dipertahankan karena keunggulannya dalam meningkatkan produktivitas ketika bekerja dengan data dalam jumlah besar. Fitur macro VBA juga menyediakan programmabilitas yang dapat dimanfaatkan untuk pre-processing data input sebelum disimpan ke MySQL Database;
5. Desktop UI dikembangkan di atas platform.NET Framework dengan bahasa pemrograman C#. Platform ini telah menjadi platform yang populer untuk

pengembangan aplikasi enterprise yang banyak bekerja dengan database. Hal ini akan mempermudah pengembangan lebih lanjut di sisi user interface.

3.11 User Guide

User guide memaparkan cara menjalankan/menggunakan I2E3M. Penjelasan lebih detail mengenai *user guide* I2E3M terdapat pada **Lampiran C**.

Software I2E3M dapat di download dan di install pada **Lampiran D**.

IV. KESIMPULAN & REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

1. Struktur model I2E3M telah terbentuk, begitu juga dengan software dan *user guide* I2E3M
2. I2E3M yang telah terbentuk akan mampu:
 - a. Menganalisa kebutuhan energi di 4 sektor perekonomian (rumah tangga, komersial, transportasi dan industri) yang mempengaruhi/dipengaruhi oleh:
 - Pertumbuhan ekonomi dan populasi
 - Intensitas penggunaan energi
 - Usaha-usaha konservasi energi
 - Bauran energi
 - Emisi Gas Rumah Kaca
 - b. Menganalisa kebutuhan sektor ketenagalistrikan, Misalnya:
 - Bauran kapasitas
 - Bauran pembangkitan
 - Bauran bahan bakar
 - Pangsa Energi terbarukan dalam pembangkitan ketenagalistrikan
 - Emisi dari pembangkitan tenaga listrik
 - Mengetahui besarnya kebutuhan listrik yang tidak terpenuhi (*Unserviced Demand*)
 - c. Menganalisa kebutuhan sektor pengolahan minyak dan gas bumi, meliputi:
 - Kemampuan analisa pasokan untuk memenuhi permintaan BBM berdasarkan konfigurasi kilang yang ada
 - Mengetahui besarnya jumlah bahan bakar yang harus diimpor
 - Mengetahui kebutuhan pengembangan kapasitas kilang
 - d. Mampu memetakan infrastruktur gas bumi, termasuk:
 - Menganalisa kapasitas penyaluran
 - Menganalisa biaya transportasi
 - Ekspansi kapasitas
 - Mengetahui besarnya kebutuhan gas bumi yang tidak terpenuhi karena kapasitas infrastruktur (*Unserviced Demand*)
 - e. Mampu menganalisa pengembangan sektor hulu minyak dan gas bumi:
 - Kapasitas produksi
 - Biaya produksi
 - Kemampuan memasok permintaan dalam negeri
 - Kebutuhan Impor
 - f. Mampu menganalisa pengembangan sektor batubara yang meliputi:
 - Analisa kapasitas produksi dan pelabuhan batubara
 - Biaya produksi
 - Kemampuan memasok permintaan dalam negeri

- g. Mampu melihat keterkaitan/dampak target pangsa Energi Baru Terbarukan dalam bauran energi secara keseluruhan beserta biayanya
- h. Mampu melihat dampak target penurunan emisi dalam bauran energi secara keseluruhan beserta biayanya
- i. Mampu menganalisa pengaruh nilai tukar dan pajak terhadap permintaan
- j. Mampu menganalisa pengaruh harga energi dunia terhadap pola permintaan

4.2 Rekomendasi

1. Saat ini tampilan utama antar muka I2E3M sudah menggunakan *Graphical User Interface* (GUI), namun untuk input data dikoneksikan dengan excel. Hal ini dilakukan karena tampilan GUI tidak dapat membaca makro yang telah dibuat didalam excel. Ke depan tampilan dari I2E3M ini sebaiknya full GUI.
2. I2E3M dalam perkembangannya dapat memiliki opsi perhitungan, apakah akan dilakukan perhitungan dengan optimisasi atau tidak.

LAMPIRAN

- A. STRUKTUR MODEL
- B. TABEL DATABASE
- C. USER GUIDE
- D. SOFTWARE I2E3M
- E. DATA I2E3M