



Asosiasi Ahli
Sistem Dinamik Indonesia

SISTEM DINAMIK

Untuk Pembangunan Berkelanjutan



Agropolitan



Energi



Hidrologi



Kelautan
& Perikanan



Kesehatan



Pariwisata



Pertambangan



Pertanian



Peternakan



Sosial



Statistik
Ekonomi



Transportasi



Opening Remark: ROKHMİN DAHURI | MEDRILZAM

Editor: IRMAN FIRMANSYAH

Authors:

SANTOSA | M. ARIF KAMAL | WIED WIWOHO WINAKTOE | AHMAD ROMADHONI SURYA PUTRA |
WIDHIANTHINI | PIPIN NOVIATI SADIKIN | ADDIN ADITYA | TITIK RESPATI | WALUYO HATMOKO |
ARDHI RASY WARDHANA | ARZYANA SUNKAR | DIDI NURYADIN | LUKMANULHAKIM ALMAMALIK |
BAGUS SUMARGO

Editor:

Dr. Irman Firmansyah, S.Hut., M.Si

Penulis:

Santosa | M. Arif Kamal | Wied Wiwoho Winaktoe | Widhianthini | Pipin Noviati
Sadikin | Ahmad Romadhoni Surya Putra | Addin Aditya | Titik Respati | Waluyo
Hatmoko | Ardhi Rasy Wardhana | Arzyana Sunkar | Didi Nuryadin | Lukmanul
hakim Almamalik | Bagus Sumargo

SISTEM DINAMIK

Untuk Pembangunan Berkelanjutan



SISTEM DINAMIK

Untuk Pembangunan Berkelanjutan

Editor: Dr. Irman Firmansyah S.Hut.,M.Si

Penulis: Santosa | M. Arif Kamal | Wied Wiwoho Winaktoe | Widhianthini | Pipin
Noviati Sadikin | Ahmad Romadhoni Surya Putra | Addin Aditya | Titik Respati |
Waluyo Hatmoko | Ardhi Rasy Wardhana | Arzyana Sunkar | Didi Nuryadin |
Lukmanulhakim Almamalik | Bagus Sumargo

ISBN: 978-623-96694-0-9

Layout: Yoga Hepta Gumilar

Desain Sampul: Mohamad Raja Fakhri

Penerbit: Perkumpulan (Asosiasi) Ahli Sistem Dinamik Indonesia (ASDI)

Redaksi:

Asosiasi Ahli Sistem Dinamik Indonesia (ASDI)

Komplek IPB 2,

Jalan Merkurius Blok C No.4b,

Bubulak Bogor - Indonesia

E-Mail: admin@asdi.or.id | sisdindo@gmail.com

www.asdi.or.id

Cetakan Pertama, April 2021

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang Memperbanyak Atau Mengutip Sebagian

Atau Seluruh Isi Buku Tanpa Seijin Tertulis Dari Penerbit.

CONTENTS

DAFTAR ISI	iii
KATA SAMBUTAN	
KOORDINATOR/PENASIHAT BIDANG DAYA SAING SDM, INOVASI TEKNOLOGI DAN RISET MENTERI KELAUTAN DAN PERIKANAN RI - PROF. DR. IR. ROKHMİN DAHURI, MS.	viii
DIREKTUR LINGKUNGAN HIDUP, BAPPENAS - IR. MEDRILZAM, M.PROF. ECON, PH.D	ix
KATA PENGANTAR	
KETUA UMUM ASDI – DR IRMAN FIRMANSYAH,S.HUT.,MSI	x
CHAPTER 1 : SISTEM DINAMIK PERTANIAN PANGAN DI INDONESIA	1
SIMULASI SISTEM DINAMIK KEBUTUHAN TRAKTOR TANGAN UNTUK PENGOLAHAN LAHAN PADI SAWAH DI KOTA PADANG	
PENDAHULUAN	2
PEMBAHASAN	3
SUBSISTEM MANUSIA	6
SUBSISTEM TERNAK	10
SUBSISTEM LAHAN	13
SUBSISTEM TRAKTOR	17
SIMPULAN	19
DAFTAR PUSTAKA	20
MODEL SISTEM DINAMIK PENGELOLAAN RANTAI PASOK BAWANG MERAH BERBASIS RISIKO DI INDONESIA	
PENDAHULUAN	21
PEMBAHASAN	22
STRUKTUR RANTAI PASOK BAWANG MERAH	22
PENGELOLAAN RESIKO RANTAI PASOK BAWANG MERAH	24
MODEL RANTAI PASOK BAWANG MERAH	26
MODEL DINAMIK PENANGANAN RISIKO RANTAI PASOK BAWANG MERAH	26
MODEL DINAMIK STRATEGI PENANGANAN RISIKO	27
SIMULASI MODEL SISTEM DINAMIK	28
SIMPULAN	30
DAFTAR PUSTAKA	31

CHAPTER 2 : SISTEM DINAMIK DALAM AGROPOLITAN	32
SISTEM-DINAMIK PENYEDIAAN RUMAH SUSUN SEBAGAI FAKTOR KEBERLANJUTAN KAWASAN AGROPOLITAN	
PENDAHULUAN	33
PEMBAHASAN	35
SIMPULAN	37
DAFTAR PUSTAKA	38
CHAPTER 3: SISTEM DINAMIK DALAM BIDANG PETERNAKAN	39
PROYEKSI KETERSEDIAAN DAGING SAPI INDONESIA MELALUI PEMODELAN SISTEM DINAMIK	
PENDAHULUAN	40
PEMBENTUKAN DIAGRAM SEBAB	41
PEMODELAN SISTEM DINAMIK	42
VALIDASI MODEL SISTEM DINAMIK	42
SKENARIO MODEL	44
SIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46
CHAPTER 4 : SISTEM DINAMIK UNTUK PARIWISATA BERKELANJUTAN	47
MODEL PERAN LPD DALAM PENATAAN DESA WISATA BERBASIS PERTANIAN DI PROPINSI BALI	
PENDAHULUAN	48
PEMBAHASAN	49
SIMPULAN	52
DAFTAR PUSTAKA	53
MODEL PENGELOLAAN EKOWISATA DI TAMAN NASIONAL GUNUNG RINJANI	
PENDAHULUAN	54
MODEL PENGELOLAAN EKOWISATA	55
ANALISIS KEBUTUHAN	56
PEMODELAN SISTEM	58
PENGELOLAAN WISATAWAN	59
SKENARIO MODEL	59
DIVERSIFIKASI PENCAHARIAN MENINGKATKAN PENDAPATAN	60
PENGEMBANGAN PRODUK UNTUK MENINGKATKAN WTP	61
IMPLEMENTASI MODEL EKOWISATA	62
SIMPULAN	63
DAFTAR PUSTAKA	63

CHAPTER 5 : SISTEM DINAMIK PADA BIDANG ENERGI	65
KAJIAN POTENSI PEMANFAATAN ENERGI BARU TERBARUKAN DALAM RANGKA MENJAMIN KETERSEDIAAN PASOKAN ENERGI LISTRIK YANG BERKELANJUTAN DI WILAYAH KEPULAUAN INDONESIA	
PENDAHULUAN	66
PEMBAHASAN	68
PERUMUSAN MODEL SKENARIO KEBIJAKAN	69
ASPEK EKONOMI TEKNIK	72
SIMPULAN	74
DAFTAR PUSTAKA	74
CHAPTER 6 : SISTEM DINAMIK PADA BIDANG KESEHATAN	75
MODEL DINAMIKA SISTEM ECOHEALTH SEBAGAI ALAT PERENCANAAN PENGURANGAN TEMPAT PERINDUKAN NYAMUK DALAM UPAYA MEMOTONG TRANSMISI DEMAM BERDARAH DENGUE	
PENDAHULUAN	76
PENGEMBANGAN MODEL ECOHEALTH DENGAN DINAMIKA SISTEM	78
STRUKTUR MODEL	79
SIMPULAN	83
DAFTAR PUSTAKA	82
CHAPTER 7 :SISTEM DINAMIK DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR .	85
OPTIMASI PENGOPERASIAN WADUK SERBAGUNA BATUTEGI DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK	
PENDAHULUAN	86
KONDISI WILAYAH STUDI	86
NERACA AIR WADUK DAN PENGOPRASIAN WADUK	87
PENDEKATAN DINAMIKA SISTEM UNTUK DAS SEKAMPUNG	88
SIMULASI ,	88
SIMPULAN	91
DAFTAR PUSTAKA	92
CHAPTER 8 : SISTEM DINAMIK DALAM PERTAMBANGAN	93
PERANCANGAN SKENARIO KEBIJAKAN RANTAI PASOK SEMEN NASIONAL BERKELANJUTAN: PENDEKATAN MODEL SISTEM DINAMIK	
PENDAHULUAN	94
METODOLOGI	95
PERUMUSAN HIPOTESIS DINAMIK	95
PENGUJIAN	96
PENGEMBANGAN SKENARIO KEBIJAKAN	97

SKENARIO KEBIJAKAN KONSUMSI NASIONAL	98
SIMPULAN	100
DAFTAR PUSTAKA	101

CHAPTER 9 : SISTEM DINAMIK DALAM DINAMIKA SOSIAL MASYARAKAT . 102

DINAMIKA SOSIAL PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM KARST GUNUNG SEWU: SEBUAH PENDEKATAN SISTEM

PENDAHULUAN	103
BERKELANJUTAN: TANTANGAN PEMBANGUNAN DI KAWASAN MISKIN	
SUMBERDAYA ALAM	103
KELANGKAAN LAHAN PRODUKTIF DI KARST GUNUNG SEWU	104
IDENTIFIKASI INDIKATOR DAN PEUBAH SENSITIF PADA MODEL	108
SIMPULAN	110
DAFTAR PUSTAKA	110

CHAPTER 10 ; SISTEM DINAMIK DALAM BIDANG TRANSPORTASI 112

SIMULASI PEMODELAN TINGKAT KEMACETAN DI KOTA YOGYAKARTA, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

PENDAHULUAN	112
KONSTRUKSI MODEL SISTEM DINAMIS KEMACETAN KOTA YOGYAKARTA	112
VALIDASI PEMODELAN SISTEM DINAMIK	114
PROYEKSI JUMLAH KENDARAAN KOTA YOGYAKARTA	114
SKENARIO MODEL	115
SIMPULAN	116
DAFTAR PUSTAKA	117

ANALISIS MANFAAT DAN BIAYA PROGRAM KENDARAAN BERMOTOR HEMAT ENERGI DAN HARGA TERJANGKAU INDONESIA

PENDAHULUAN	118
LATAR BELAKANG PROGRAM PPKB	199
KOMITMEN PESERTA PROGRAM PPKB	199
PEMENUHAN PRODUKSI MOBIL TERHADAP TARGET PETA JALAN	120
KEMANDIRIAN TEKNOLOGI SEKTOR OTOMOTIF NASIONAL	121
KETERKAITAN INDUSTRI DI SEKTOR OTOMOTIF NASIONAL	121
PENYERAPAN TENAGA KERJA	122
ANALISIS RASIO MANFAAT DAN BIAYA PROGRAM PPKB	122
SIMPULAN	125
DAFTAR PUSTAKA	125

CHAPTER 11 : SISTEM DINAMIK DALAM BIDANG STATISTIK EKONOMI 127

OPTIMALISASI MODEL PERSAMAAN SIMULTAN DALAM SISTEM DINAMIK

PENDAHULUAN	128
METODE	128
PEMBAHASAN	129
SIMPULAN	133
DAFTAR PUSTAKA	133

KAJIAN POTENSI PEMANFAATAN ENERGI BARU TERBARUKAN DALAM RANGKA MENJAMIN KETERSEDIAAN PASOKAN ENERGI LISTRIK YANG BERKELANJUTAN DI WILAYAH KEPULAUAN INDONESIA

[Addin Aditya]

Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam keberlangsungan hidup manusia. Kebutuhan akan energi listrik juga berbanding lurus dengan pertumbuhan ekonomi, teknologi, industri dan lain sebagainya. Dalam skala nasional, rasio elektrifikasi di Indonesia saat ini berada mendekati 100%, yakni diangka 98.3% (ESDM & Ketenagalistrikan, 2019). Indonesia memiliki target rasio elektrifikasi nasional mencapai angka 100% di tahun 2020 nanti. Tabel 5.1 menunjukkan rasio elektrifikasi nasional dari tahun 2013 sampai 2018. Dapat dilihat bahwa kenaikan signifikan terjadi mulai 2015 hingga 2018.

Tabel 5.1 Rasio Elektrifikasi Nasional

Tahun	Jumlah Rumah Tangga	Jumlah Pelanggan Rumah Tangga	Rasio Elektrifikasi (%)
2013	62.204.615	51.668.927	80.51
2014	64.835.092	54.690.431	84.35
2015	65.669.197	57.963.048	88.3
2016	66.489.409	60.612.009	91.16
2017	67.228.573	64.105.549	95.35
2018	68.082.153	66.921.705	98.3

Sumber: Rencana Umum Ketenaga listrikan Nasional 2019-2038

Kebijakan penyediaan tenaga listrik linear dengan tujuan pembangunan ketenagalistrikan sebagaimana ketentuan dalam pasal 2 ayat (2) Undang-Undang Nomor 30 tahun 2009 tentang ketenagalistrikan, yakni menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah cukup, kualitas yang baik serta harga yang wajar. Target pengembangan penyediaan tenaga listrik pada sektor pembangkitan tahun 2025 antara lain Energi Baru Terbarukan (EBT) 23%, sementara pembangkit yang bergantung pada bahan bakar minyak (BBM) hanya digunakan saat bersifat mendesak terutama untuk daerah kepulauan kecil di Indonesia. Selanjutnya adalah pengembangan pembangkit listrik *combine cycle* seperti Pembangkit Listrik Tenaga gas dan Uap (PLTGU) atau Pembangkit Listrik Tenaga Minyak dan Gas (PLTMG). Selain itu ada juga Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan *clean coal technology*, pemanfaatan sumberdaya alam setempat dan pemanfaatan energi nuklir yang sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN).

Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan

Namun hingga saat ini, pemanfaatan EBT untuk pembangkitan energi listrik terbilang cukup minim. Realisasi EBT baru mencapai 8% dari potensi 400 megawatt atau hanya dimanfaatkan sekitar 32 megawatt (Setiawan, 2019). Situasi ini tidak sejalan dengan dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028 dimana pemerintah memiliki target untuk menambah kapasitas pembangkit berbasis EBT hingga 16.714 Gigawatt. Target ini patut didukung sepenuhnya mengingat masih banyak sumberdaya alam baru terbarukan yang belum dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

Untuk mendukung program peningkatan rasio elektrifikasi dengan memanfaatkan EBT, maka diperlukan pengembangan pembangkit listrik dengan mempertimbangkan potensi sumberdaya alam daerah setempat, terutama di pulau-pulau kecil di wilayah Republik Indonesia. Salah satu potensi sumberdaya alam yang cocok untuk dikembangkan di wilayah Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Pembangkit jenis ini memanfaatkan potensi energi air yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik dengan cara merubah energi mekanik oleh turbin lalu diubah lagi menjadi energi listrik (Marsudi, 2011). PLTA juga merupakan salah satu pembangkit listrik EBT yang cukup populer untuk dikembangkan di Indonesia. Mengingat kondisi geografis di Sebagian wilayah Indonesia cukup berpotensi untuk dikembangkan PLTA.

Pulau Madura merupakan salah satu pulau kecil yang wilayah administrasinya termasuk di provinsi Jawa Timur. Sejauh ini, kondisi kelistrikan di Madura masih bergantung pada pasokan dari Pulau Jawa melalui dua sirkuit kabel laut tegangan tinggi 150.000-volt berkapasitas 2x100 mW yang terbentang dari Gresik menuju Kamal (Aditya & Suryani, 2018). Kabel transmisi dibentangkan melalui selat Madura, dimana selat ini merupakan jalur transportasi laut yang cukup padat sehingga rentan terjadi kerusakan kabel akibat jangkar kapal. Meski cadangan pasokan listrik di Pulau Jawa terbilang cukup, namun dengan pertumbuhan permintaan energi listrik yang mencapai 7% - 9% per tahun dan beban puncak hingga 22.381 megawatt, maka diperlukan tambahan kapasitas dengan mengembangkan pembangkit listrik EBT yang disesuaikan dengan sumberdaya alam agar dapat memenuhi kebutuhan energi listrik sehingga Pulau Madura memiliki pasokan energi listrik yang mandiri dan tidak bergantung dengan Pulau Jawa.

Pulau Madura memiliki satu lokasi yang berpotensi untuk dikembangkan PLTA, yakni Air Terjun Toroan yang bertempat di Kabupaten Sampang, Madura. Air terjun ini merupakan salah satu air terjun terkenal yang dimiliki oleh Pulau Madura. Sementara ini, potensi air terjun Toroan hanya dimanfaatkan sebatas tempat wisata saja. Seiring dengan kebutuhan akan energi listrik, maka selayaknya potensi air terjun ini dimaksimalkan. Dewasa ini, air terjun dan bendungan tidak hanya dimanfaatkan untuk destinasi wisata saja tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik juga.

Kajian ini bertujuan untuk mengembangkan model dinamis sebagai salah satu upaya strategis dalam perencanaan pembangkit energi listrik berbasis energi baru terbarukan dengan memanfaatkan air terjun. Diharapkan kajian ini dapat menjadi penggerak bagi terciptanya kemandirian energi bagi daerah kepulauan.

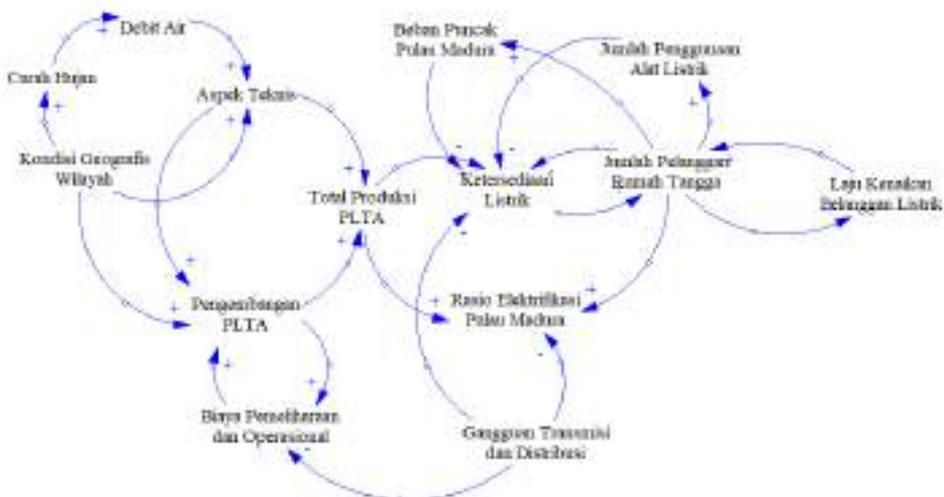
Pembahasan

Model merupakan sebuah representasi dari sistem nyata. Suatu model dikatakan baik apabila perilaku dari model tersebut menyerupai sistem yang sebenarnya dengan tidak melanggar aturan main dalam sebuah sistem. Dalam membangun sebuah model sangat dipengaruhi oleh subjektivitas seseorang maupun organisasi. Oleh karenanya, perlu adanya perbaikan secara kontinyu guna menggali potensi dan informasi yang relevan (Winardi, 1989).

Tahapan dalam pengembangan model sistem dinamik sendiri diawali dengan pemahaman sistem dan permasalahannya. Pemahaman ini dijabarkan dalam bentuk sebuah diagram sebab-akibat tertutup (Suryani, 2006). Dalam pembuatan model, ada dua hal yang perlu diperhatikan, yakni struktur dan perilaku sistem. Struktur merupakan sesuatu unsur pembentuk fenomena. Variable yang mempengaruhi keterikatan unsur tersebut adalah:

1. Level; Level merupakan suatu variable yang menyatakan kondisi sistem setiap saat. Variable ini berfungsi sebagai variable penampung dari hasil akumulasi satu variabel atau lebih.
2. Auxiliary; Variable ini berfungsi untuk menampung formulasi dari beberapa variable untuk memenuhi variable level.
3. Rate; Merupakan persamaan struktur kebijakan apa dan mengapa suatu keputusan dibuat berdasarkan informasi yang mengalir dalam sebuah sistem.
4. Source/Link; Variable ini adalah rangkaian komponen-komponen di luar Batasan model

Dalam membuat suatu model untuk perumusan kebijakan, sebuah diagram yang menjelaskan hubungan sebab akibat antara satu variable dengan variable lain yang dikenal dengan *Causal Loop Diagram* atau diagram sebab akibat. Gambar 5.1 merupakan diagram sebab akibat yang mana menjabarkan variable apa saja yang berkaitan dengan kajian pengembangan pembangkitan listrik tenaga air di pulau Madura.



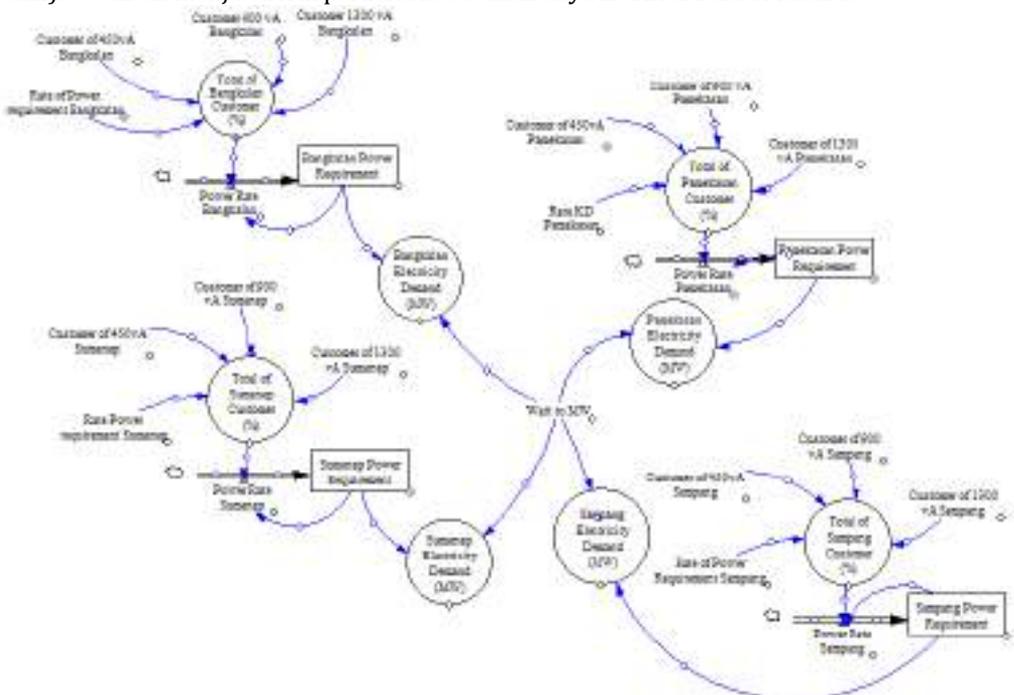
Gambar 5.1. Diagram Kausatik Perencanaan PLTA

Perumusan Model Skenario Kebijakan

Perumusan model scenario ini bertujuan untuk merumuskan keputusan strategis terkait pembangkitan energi listrik berbasis energi baru terbarukan. Pada tahapan ini model yang sudah dibuat akan diuji dengan beberapa perlakuan terhadap model untuk dapat diamati hasil perlakuannya sehingga didapatkan sebuah informasi dimana informasi tersebut sebagai landasan untuk menciptakan sebuah kebijakan baru. Menurut Barlas (1996) terdapat dua alternative scenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik:

1. Scenario parameter
Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada nilai parameter dari model yang sudah dibuat untuk mendapatkan hasil yang paling optimal atau sesuai kebutuhan.
2. Skenario Struktur
Scenario struktur dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga tercipta sebuah struktur model baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja dari sistem yang lama.

Kebutuhan daya listrik merupakan factor yang sangat penting dalam perencanaan sistem pembangkit listrik. Kebutuhan listrik suatu daerah perlu didefinisikan sehingga nantinya dapat digunakan untuk merumuskan kapasitas suatu pembangkit listrik guna memenuhi kebutuhan listrik di wilayah tersebut. Gambar 5.2 menunjukkan model *stock and flow* untuk menjabarkan perilaku kebutuhan daya listrik di Pulau Madura.

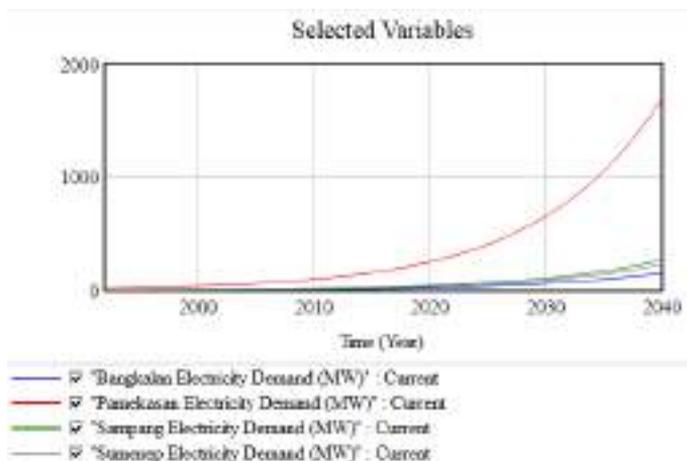


Gambar 5.2. Diagram Alir Kebutuhan Energi Listrik di Pulau Madura

Kebutuhan daya merupakan kebutuhan energi listrik suatu daerah dalam satuan megawatt (mW), sedangkan faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan kebutuhan

Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan

daya energi listrik suatu daerah adalah jumlah pelanggan listrik. Pada model ini diperlihatkan pelanggan listrik rumah tangga diklasifikasikan berdasarkan daya terpasang. Adapun golongan tarif pelanggan listrik rumah tangga adalah 450 kVA, 900 kVA dan 1300 kVA. Rata-rata perkembangan kebutuhan energi listrik di empat Kabupaten utama di Madura adalah sekitar 9% per tahun. Gambar 5.3 juga menunjukkan bahwa tren kebutuhan energi listrik di Pulau Madura semakin meningkat.



Gambar 5.3. Perkembangan Kebutuhan energi Listrik di Pulau Madura

Hasil dari simulasi ini akan divalidasi untuk memastikan bahwa model yang dibuat benar-benar menggambarkan kondisi sistem nyata. Validasi sistem dilakukan dengan dua acara, yakni validasi model dengan statistic uji perbandingan rata-rata (E1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo (E2), validasi yang digunakan menggunakan model Yaman Barlas (1989). Model akan dikatakan valid apabila nilai E1 tidak lebih dari 5% dan nilai E2 tidak lebih dari 30%. Table 2 menunjukkan bahwa data kebutuhan energi listrik di Pulau Madura sudah valid.

Tabel 5.2 Validasi Model Kebutuhan Energi Listrik Pulau Madura

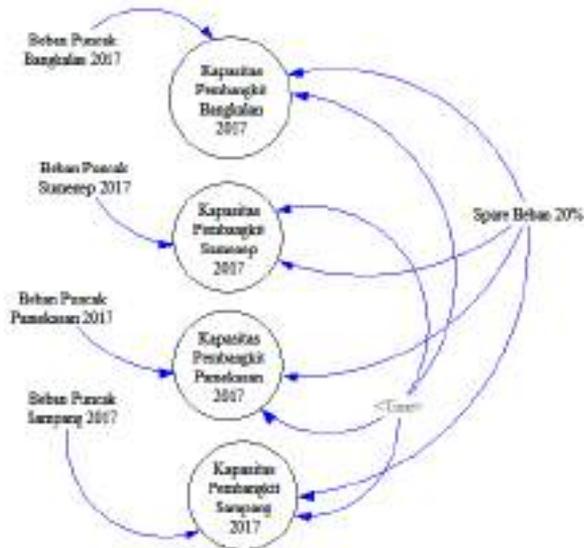
Kabupaten	Permintaan Rata-Rata			Standard Deviasi Rata-Rata		
	Data (mw)	Simulasi (mw)	E1 (%)	Data (mw)	Simulasi (mw)	E2 (%)
Pamekasan	58,31	58,93	1,06	34,7	36,03	3,63
Sampang	9,754	9,66	0,95	5,9	5,83	0,85
Bangkalan	6,3	6,23	1	3,84	3,78	1,53
Sumenep	7,622	7,73	1,52	4,64	4,77	2,89

Diagram Alir Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memodelkan kapasitas. Diantaranya adalah total kebutuhan daya yang diperlukan dalam suatu daerah beserta *reserve margin*. Spare daya atau *reserve margin* adalah cadangan daya pembangkiti terhadap beban puncak dan dinyatakan dalam bentuk persen. Berdasarkan kebutuhan daya per daerah yang sudah dirumuskan di atas, ditambah dengan cadangan daya sebesar 20% maka dapat dibuat model untuk rencana kapasitas energi listrik di Pulau

Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan

Madura. Gambar 5.4 menunjukkan model perencanaan kapasitas pembangkit listrik untuk empat Kabupaten utama di Pulau Madura. Model tersebut menggunakan periode waktu tahun 2000-2040. Hasilnya adalah Kabupaten Bangkalan direncanakan kapasitas pembangkit sebesar 55,11 mw, Kabupaten Pamekasan 64,7 mw, Kabupaten Sampang 57,3 mw dan Kabupaten Sumenep 54,5 mw.



Gambar 5.4. Model Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik

Untuk meningkatkan rasio elektrifikasi pulau Madura, dibutuhkan sebuah model skenario untuk perencanaan pengembangan pembangkit listrik berdasarkan sumber daya alam yang dimiliki oleh Pulau Madura. Guna mendukung perencanaan pembangkitan energi listrik yang ramah lingkungan dan berdasarkan energi baru terbarukan maka diutamakan jenis pembangkit listrik dengan sumber daya non fosil. Kabupaten Sampang memiliki potensi air terjun untuk dikembangkan sebagai alternatif energi listrik. Dalam analisis teknis PLTA, terdapat empat aspek yang perlu dipertimbangkan. Yakni debit air, tinggi tebing air terjun, efisiensi turbin dan konstanta gravitasi (Marsudi, 2011).

$$P = Q * g * H * \eta$$

Dimana:

P : Daya

Q : Debit air

g : Konstanta Gravitasi

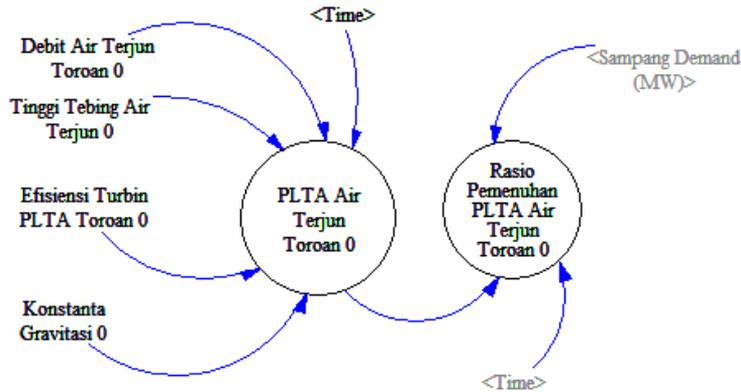
H : Tinggi tebing

η : efisiensi generator

Diketahui bahwa debit air di air terjun toroan adalah 10,5 m³/s dan memiliki tinggi tebing 20 meter. Generator PLTA memiliki efisiensi 95% dan konstanta gravitasi adalah 9,8 m²/s. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya yang

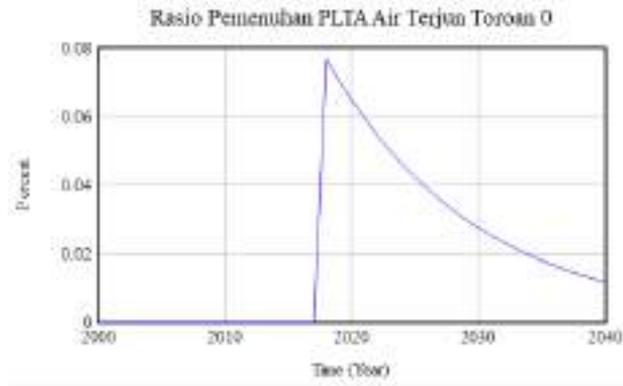
Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan

dibangkitkan oleh PLTA Air Terjun Toroan adalah sekitar 1,95 megawatt sedangkan kebutuhan energi listrik di Kabupaten Sampang sendiri adalah sekitar 26,7 megawatt.



Gambar 5.5. Aspek Teknik Perencanaan PLTA dan Rasio Elektrifikasi

Rasio pemenuhan energi listrik atau rasio elektrifikasi adalah perbandingan jumlah pasokan energi listrik dengan jumlah pelanggan listrik pada suatu wilayah. Pengembangan pembangkit listrik tenaga air terjun ini diutamakan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Kabupaten Sampang. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pembangkitan energi listrik bertenaga air dapat meningkatkan rasio elektrifikasi hingga 20%.



Gambar 5.6. Rasio Pemenuhan PLTA terhadap Kebutuhan Daya

Aspek Ekonomi Teknik

Dalam pengembangan pembangkitan energi listrik tenaga air sangat perlu untuk mempertimbangkan aspek ekonomi teknik, dalam hal ini biaya investasinya. Diantaranya biaya pre-konstruksi, pekerjaan sipil, pekerjaan mekanikal dan elektrikal (Afifuddin, 2009). Selain itu juga terdapat pembelian kendaraan

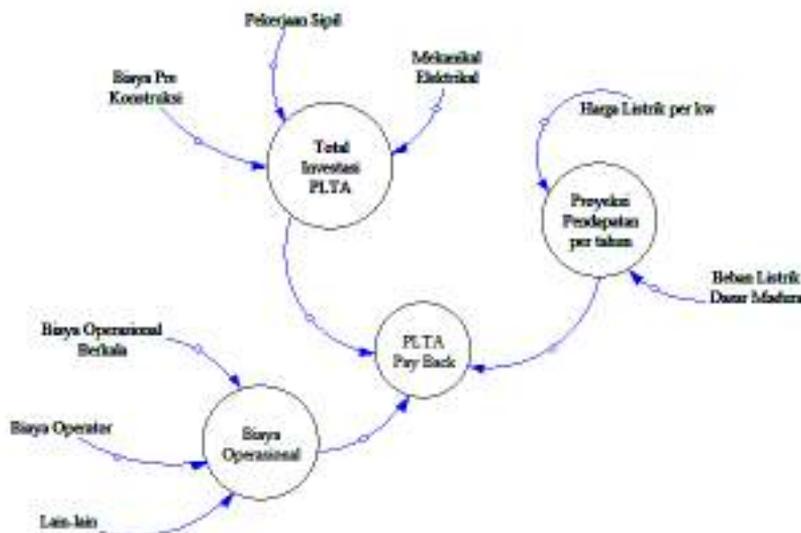
Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan

operasional, *spare part* dan fasilitas lainnya yang dapat digunakan sebagai penunjang kegiatan operasional perusahaan. Tabel 5.3 menunjukkan deskripsi umum mengenai aspek ekonomi teknik perencanaan pembangkitan energi listrik tenaga air.

Tabel 5.3 Biaya Investasi PLTA dan Proyeksi Pendapatan

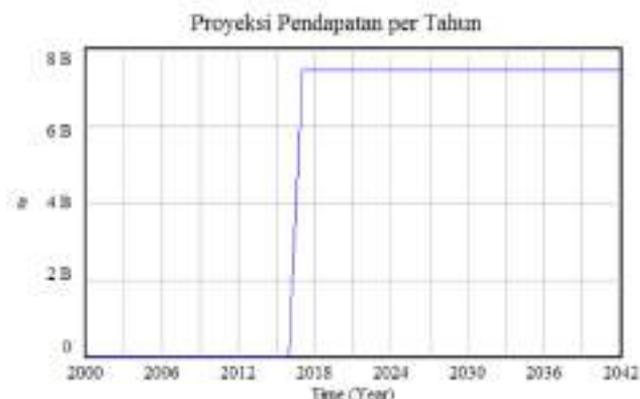
Investasi Awal		
No	Jenis Investasi	Biaya (Rp)
1	Pra Konstruksi	55.751.374.070
2	Pekerjaan Sipil	10.000.000.000
3	Mekanikal Elektrikal	5.000.000.000
Total		70,751,374,070
Operasional dan Pemeliharaan		
1	Biaya Operasional	135.000.000
2	Gaji Operator	60.000.000
3	Lain-Lain	20.250.000
Total		215.250.000
Proyeksi Pendapatan		
1	Harga per kw (8 sen USD)	1.148
2	Suplai listrik per tahun (mw)	6.487
Proyeksi pendapatan per tahun		7.447.000.000

Mengacu pada penelitian Affuddin (2009), berdasarkan pada perhitungan tabel di atas, maka lama pengembalian biaya investasi PLTA adalah 5,8 tahun. Proyeksi pendapatan dari penjualan listrik PLTA adalah Rp 7.447.000.000 per tahun. Berikut adalah model aspek ekonomi Teknik dari perencanaan pembangkitan energi listrik tenaga air di Pulau Madura.



Gambar 5.7. Model Aspek Ekonomi Teknik PLTA

Sistem Dinamik untuk Pembangunan Berkelanjutan



Gambar 5.8. Proyeksi Pendapatan PLTA

Simpulan

Berdasarkan pengolahan data dan pembuatan model skenario, maka dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga air terjun layak untuk dikembangkan guna mendukung keberlanjutan pasokan listrik yang mandiri di Pulau Madura. Selain itu, pengembangan PLTA ini juga mendukung program pemerintah dalam menciptakan energi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumberdaya alam yang berpotensi di wilayah masing-masing. Seperti halnya PLT Air terjun Toroan di Kabupaten Sampang ini berpotensi untuk dikembangkan mengingat dari segala aspek Teknik dan ekonomisnya sangat layak untuk dikembangkan demi kemandirian energi listrik di Pulau Madura.

Daftar Pustaka

- Aditya, A., & Suryani, E. (2018). Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Dalam Rangka Memenuhi Kebutuhan Supply Dan Demand Energi Listrik Di Kepulauan. (JPIT)Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT, 03(01), 7-14. <https://doi.org/10.30591/jpit.v3i1.649>
- Afifuddin, A. (2009). Analisis Dampak Krisis Global Terhadap Kelayakan PLTA Pamona 2. Skripsi.
- ESDM, K., & Ketenagalistrikan, D. (2019). Statistik Ketenaga Listrikan Tahun 2018. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik* (1st ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Setiawan, V. N. (2019). Menteri ESDM: Pemanfaatan EBT Minim, Hanya 8% dari Potensi 400 mw. Retrieved August 6, 2020, from <https://katadata.co.id/febrianaiskana/energi/5e9a4e554df71/menteri-esdm-pemanfaatan-ebt-minim-hanya-8-dari-potensi-400-mw>
- Suryani, E. (2006). *Pemodelan dan Simulasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Winardi. (1989). *Pengantar Tentang Teori Sistem dan Analisis Sistem* (M. Maju, Ed.). Bandung.