

Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Dalam Rangka Memenuhi Kebutuhan *Supply* Dan *Demand* Energi Listrik Di Kepulauan (Studi Kasus: Pulau Madura)

Addin Aditya^{1*}, Erma Suryani²

¹Jurusan Sistem Informasi, Sekolah Tinggi Informatika dan Komputer Indonesia, Malang

²Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹Jln. Raya Tidar No 100, Kota Malang 65149, Malang, Jawa Timur, Indonesia

² Jl. ITS Raya, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111, Indonesia

email: ¹addin@stiki.ac.id, ²erma@is.its.ac.id

Abstract – One of the energy problems in Indonesia is uneven electrification ratio. According to PT. PLN (Persero) East Java Distribution, Madura Island has the lowest electrification ratio in East Java, which is 59.02%. At present, Madura gets their electricity supply from Java Island through 2 high voltage sea cable circuit 150.000 volts with 2x100 MW capacity. However, that's not enough to fulfill the Madura electricity demand. This research aims to develop a dynamic model of the hydroelectric power system in order to increase Madura's electrification ratio. In this research, we use a dynamic system model to analyze both technical and economical aspect of developing the hydroelectric power system. A dynamic system model approach is a part of the concept which means it articulate the problem as a comprehensive system and relation between each element of it. We hope this research can pull the trigger of energy independence which is correspond with local resource especially in the eastern island of Indonesia.

Abstrak – Salah satu permasalahan Negara Indonesia adalah tidak meratanya rasio elektrifikasi di seluruh kepulauan. Menurut data dari PT. PLN (Persero) distribusi Jawa Timur, rasio elektrifikasi di Pulau Madura adalah 59.02% dan paling rendah di Provinsi Jawa Timur. Saat ini, Pulau Madura mendapat pasokan listrik dari Pulau Jawa melalui dua sirkuit kabel laut tegangan tinggi 150.000 volt berkapasitas 2x100 MW yang terbentang dari Gresik menuju Kamal, Madura, namun itu saja belum cukup untuk memenuhi permintaan energi listrik disana. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model dinamis untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dalam rangka meningkatkan rasio elektrifikasi di Pulau Madura. Pendekatan sistem dinamik merupakan bagian dari konsep *system thinking* yang dapat diartikan dengan cara memandang masalah sebagai sebuah sistem menyeluruh dan adanya keterkaitan terhadap masing-masing unsur sistem. Sistem dinamik digunakan pada penelitian ini untuk menganalisa aspek teknis dan aspek ekonomis dari perencanaan PLTA. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memicu kemandirian energi yang sesuai dengan sumber daya alam setempat terutama di Kepulauan Indonesia bagian timur.

Kata Kunci – energi listrik, *supply* dan *demand*, pembangkit listrik tenaga air, pemodelan, sitem dinamik.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi seluruh lapisan masyarakat [2]. Seiring pesatnya pertumbuhan dibidang perekonomian, industri dan teknologi informasi, maka kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat [4]. saat ini, rasio elektrifikasi di Indonesia masih belum memenuhi asas keadilan dan pemerataan dikarenakan ketersediaan listrik tidak sebanding dengan permintaan.

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral [10], saat ini terdapat 14 provinsi di Indonesia yang memiliki rasio elektrifikasi di atas 60%, yaitu Aceh (76,98%), Sumatera Utara (69,68%), Sumatera Barat (69,37%), Bangka Belitung (72,88%), Banten (63,90%), Jakarta (100%), Jawa Barat (67,40%), Jawa Tengah (71,24%), DIY (84,48%), Jatim (71,55%), Bali (74,98%), Kalimantan Timur (68,56%), Kalimantan Selatan (72,29%) dan Sulawesi Utara (66,87%). Sementara 14 provinsi lainnya memiliki rasio elektrifikasi berkisar antara 41%-60%. Provinsi yang termasuk kategori ini adalah Riau dan Kepri (55,84%), Jambi (51,41%), Bengkulu (51,46%), Lampung (48,82%), Sumatera Selatan (50,30%), Kalimantan Barat (45,83%), Kalimantan Tengah (45,22%), Gorontalo (49,79%), Sulawesi Tengah (48,30%), Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan (55,2%), Maluku (54,51%) dan Maluku Utara (49,44%). Provinsi lainnya masih memiliki elektrifikasi antara 20%-40% yaitu Nusa Tenggara Barat (32,51%), Nusa Tenggara Timur (24,55%), Sulawesi Tenggara (38,09%) serta Papua dan Irian Barat (32,35%).

Lain halnya dengan masyarakat di Provinsi Jawa Timur. Tidak semua masyarakat Jatim menikmati listrik, Data PT PLN (Persero) menyebutkan bahwa ada sekitar 40 dari 8.506 desa yang belum teraliri listrik. Kendala investasi yang membuat elektrifikasi Jatim masih belum 100% [13]. Di Pulau Madura, dari 219.439 kepala keluarga (KK), yang teraliri listrik masih sekitar 129.522 KK, sehingga rasio elektrifikasinya hanya berkisar 59,02%. Madura merupakan daerah dengan rasio elektrifikasi terendah di Jawa Timur. Keadaan ini disebabkan oleh kecilnya jumlah KK di satu desa

*) penulis korespondensi (Addin Aditya)
Email: addin@stiki.ac.id

sementara jarak per desa cukup jauh sehingga hitungan investasi juga tidak mencukupi.

Untuk mendukung program peningkatan rasio elektrifikasi dengan memanfaatkan teknologi energi baru terbarukan (EBT), maka diperlukan pengembangan pembangkit listrik dengan mempertimbangkan potensi sumber daya alam daerah setempat, terutama pulau-pulau kecil di Indonesia timur. Salah satu potensi sumber daya alam terbarukan di Pulau Madura adalah air terjun Toroan yang berlokasi di Kabupaten Sampang dan Waduk Samiran yang terletak di Kabupaten Pamekasan, Madura. Air Terjun Toroan merupakan satu-satunya Air Terjun di Pulau Madura. Sampai saat ini, air terjun Toroan dan Waduk Samiran hanya digunakan sebagai objek wisata. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Pulau Madura, maka sumber daya air ini harus dimaksimalkan lagi potensinya. Pemanfaatan bendungan dan air terjun ini bukan lagi hanya untuk destinasi wisata maupun irigasi dan air baku saja, tetapi bisa dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik juga.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model dinamis untuk perencanaan pembangkit energi listrik tenaga air dengan memanfaatkan sumber daya air terjun dan bendungan dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Madura. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi pemicu terciptanya energi yang mandiri bagi daerah kepulauan khususnya Indonesia timur.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu pembangkitan energi listrik dengan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin dan dirubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan air [6].

A. Jenis-Jenis PLTA

1) *PLTA Jenis Impoundment*: PLTA jenis ini adalah pembangkit listrik dengan bendungan yang melintang di sungai. Pembuatan bendungan ini dimaksudkan untuk menaikkan permukaan air dibagian hulu sungai guna membangkitkan energi potensial yang lebih besar sebagai pembangkit listrik.

2) *PLTA Jenis Diversion*: PLTA jenis ini banyak digunakan dalam PLTA saluran air / terusan, jenis pembangkit ini banyak memanfaatkan aliran sungai itu sendiri tanpa membangun bendungan.

3) *PLTA Jenis Pumped Storage*: Adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik yang berlebihan yaitu pada saat pemakaian tenaga listrik rendah saat tengah malam. Pada waktu ini, sebagian turbin berfungsi sebagai pompa untuk memompa air dari hilir ke hulu, jadi pembangkit ini memanfaatkan air secara penuh di hulu saat beban puncak dan dipompa ke atas lagi saat beban rendah.

B. Kondisi Kelistrikan Pulau Madura

Pulau Madura selama ini telah menikmati pasokan listrik yang kontinyu. Saat ini beban listrik yang dibutuhkan oleh Madura adalah 120 mW, sedangkan pasokan melalui aliran Jembatan Suramadu mencapai 200 mW.

Sejauh ini kondisi kelistrikan di Pulau Madura masih bergantung pada pasokan Jawa melalui dua sirkit kabel laut tegangan tinggi 150.000 volt berkapasitas 2x100 MW yang terbentang dari Gresik menuju Kamal, Madura. Kabel transmisi ini harus melalui Selat Madura yang sering dilalui oleh Kapal sehingga rentan dengan kerusakan yang disebabkan oleh jangkar. Berdasarkan data PLN Distribusi Jawa Timur, di Madura terdapat sekitar 395.000 pelanggan listrik yang tersebar di Kab. Bangkalan, Kab. Sampang, Kab. Pamekasan dan Kab. Sumenep dengan pertumbuhan mencapai 2% per tahun [10].

Meski cadangan pasokan listrik di Jawa, Madura dan Bali, namun dengan pertumbuhan permintaan listrik di kawasan tersebut yang mencapai 7% - 9% per tahun dan beban puncak mencapai 22.381 mW, diperlukan tambahan kapasitas pembangkit minimal 1.500 hingga 200 mW per tahun.

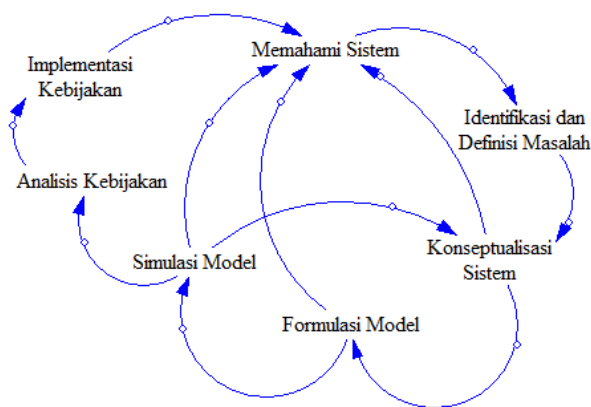
Madura merupakan daerah dengan rasio elektrifikasi terendah di Pulau Jawa Timur, yaitu sekitar 49.7 %. Ini disebabkan karena kondisi topografi di Madura, yaitu kecilnya jumlah KK (kepala keluarga) di satu desa sementara jarak antar desa juga cukup jauh.

C. Pemodelan dan Simulasi

Model merupakan representasi dari sistem nyata, suatu model dikatakan baik apabila perilaku model tersebut menyerupai sistem sebenarnya dengan tidak melanggar prinsip-prinsip berpikir sistem. Dalam membangun sebuah model sangat dipengaruhi oleh subjektivitas seseorang maupun organisasi, maka perlu adanya penyempurnaan yang dilakukan secara terus menerus dengan menggali potensi dan informasi yang relevan [8]. Selain itu, pendekatan menggunakan simulasi sistem dinamik diperlukan dalam menyelesaikan masalah perusahaan mengingat adanya interaksi antar elemen dalam sistem, adanya permintaan yang berfluktuasi dan mengandung ketidakpastian [3].

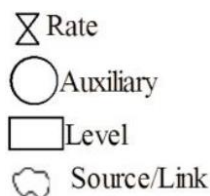
Keuntungan penggunaan model dalam penelitian dengan pendekatan sistem [9] yaitu:

- 1) Memungkinkan melakukan penelitian yang bersifat lintas sektoral dengan cakupan yang luas
- 2) Dapat melakukan eksperimentasi terhadap sistem tanpa mengganggu terhadap sistem.
- 3) Mampu menentukan tujuan aktivitas pengelolaan dan perbaikan sistem yang diteliti.
- 4) Dapat dipakai untuk menduga perilaku dan keadaan sistem dimasa yang akan datang



Gbr. 1 Tahapan Pengembangan Sistem Dinamik

Tahapan dalam mengembangkan model sistem dinamik diawali dengan pemahaman sistem dan permasalahannya dihubungkan sehingga membentuk lingkaran tertutup (hubungan sebab akibat) seperti yang terlihat pada Gbr. 1 [7]. Pembuatan model sistem dinamik pada umumnya menggunakan *software* khusus. Contohnya vensim, powersim, stella dan dynamo. Melalui *software*, model dibuat dengan menggambarkan *variable* beserta hubungannya. Dalam mengembangkan model perlu diperhatikan dua hal yaitu struktur dan perilaku. Struktur merupakan suatu unsur pembentuk fenomena. Pola yang mempengaruhi keterkaitan unsur-unsur tersebut adalah:



Gbr. 2 Jenis Variabel

Level menyatakan kondisi sistem pada setiap saat. *Level* merupakan akumulasi di dalam sistem. Persamaan suatu *variable rate* merupakan suatu struktur kebijaksanaan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan informasi yang mengalir di dalam sistem. *Auxiliary* adalah formulasi dari beberapa *variable* untuk memenuhi *variable stock* dan *flow*. *Source* adalah rangkaian komponen-komponen diluar batasan model. Proses validasi juga diperlukan dalam membangun sebuah model. Validasi berfungsi untuk membuktikan apakah model yang dibuat sudah mewakili / merepresentasi sistem nyata [5]. Terdapat dua cara dalam pengujian model, yaitu:

- Perbandingan Rata-Rata (*Mean Comparasion*)

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (1)$$

Dimana:

S = Nilai Rata-Rata Hasil Simulasi

A = Nilai Rata-Rata Data

Model dianggap valid apabila $E1 \leq 5\%$

- Perbandingan Variasi Amplitudo (% *Error Variance*)

$$E2 = \frac{Ss - Sa}{Sa} \quad (2)$$

Dimana:

Ss = Standard deviasi model

Sa = Standard Deviasi Data

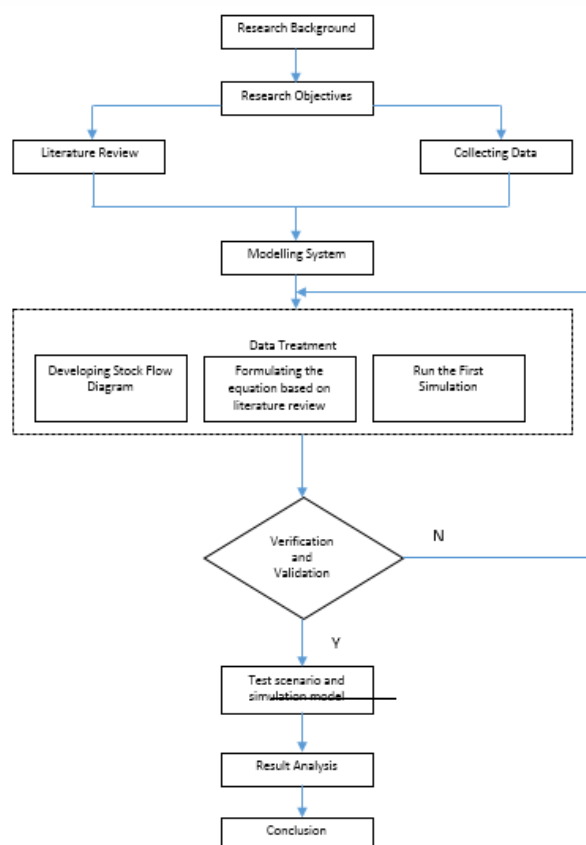
Model dianggap valid apabila $E2 \leq 30\%$.

III. METODE PENELITIAN

A. Kerangka Penelitian

Penelitian ini dikerjakan dengan beberapa langkah pada Gbr. 3. Dimulai dari studi literatur, baik itu dari jurnal, buku teks, maupun dari artikel ilmiah yang berhubungan dengan

tema penelitian. Dari semua informasi yang didapat, setelah itu disusunlah *variable-variabel* yang terkait dengan pembangkit listrik tenaga air yang nantinya akan menjadi diagram sebab akibat. Dilanjutkan dengan melakukan verifikasi dan validasi terhadap model yang sudah dibuat. Dari model yang sudah tervalidasi terakhir dilakukan pembuatan skenario kebijakan.



Gbr. 3 Alur Pikir Penelitian

B. Data Masukan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data-data yang didapatkan dari hasil survey dan wawancara yang dilakukan di kantor PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur dan PT. PLN Area Pamekasan. Ditambah dengan studi pustaka di Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur. Berikut informasi yang didapat:

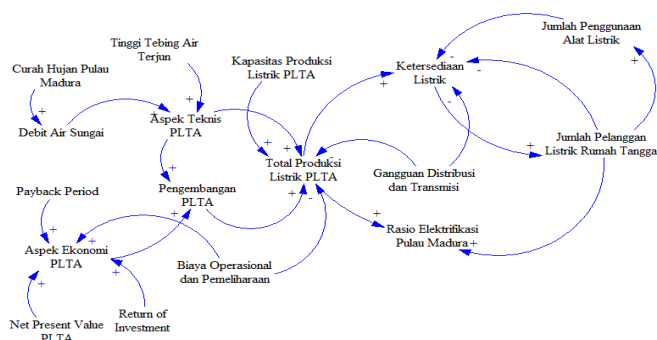
- Data pelanggan listrik Pulau Madura
- Data Beban Puncak Pulau Madura
- Laju Kenaikan Pelanggan Listrik
- Debit Air dan Tinggi Tebing Air Terjun Toroan dan Waduk Samiran

Dari data-data tersebut nantinya akan diproses menjadi model skenario kebijakan dengan bantuan *software vensim*.

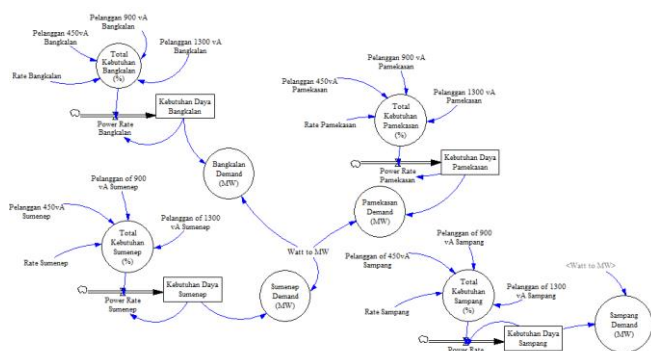
C. Pembuatan Konseptual Model

Tahap selanjutnya adalah membuat diagram sebab akibat atau *causal loop diagram*. Diagram ini meliputi variabel apa

saja yang berkaitan dengan perencanaan PLTA seperti pada Gbr.4.



Gbr. 4 Diagram Kausatik Perencanaan PLTA Madura.



Gbr. 5 Base Model Kebutuhan Energi Listrik Pulau Madura

TABEL I
VALIDASI MODEL KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PULAU MADURA

Kabupaten	Valid E1 $\leq 5\%$	Valid E2 $\leq 30\%$
Bangkalan	1 %	1,53%
Sampang	0,95 %	0,85%
Pamekasan	1,06%	3,63%
Sumenep	1,52 %	2,89%

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Base Model

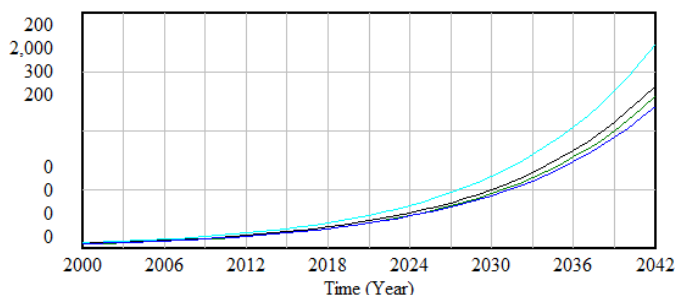
Langkah awal pembuatan *base model* adalah mengidentifikasi variabel apa saja yang mempengaruhi sistem utama. Pada penelitian ini kebutuhan (*demand*) dan pasokan (*supply*) energi listrik menjadi variabel utama yang mempengaruhi rasio pemenuhan kebutuhan listrik di Pulau Madura. Berikut adalah *base model* untuk kebutuhan listrik di empat Kabupaten utama Pulau Madura (Pamekasan, Sumenep, Sampang, Bangkalan) seperti pada Gbr.5.

B. Verifikasi dan Validasi

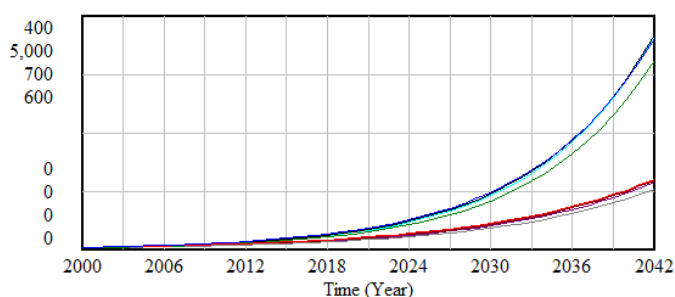
Pengujian terhadap *base model* dilakukan dengan menggunakan perbandingan rata-rata dan perbandingan variasi amplitudo. Berikut adalah hasil validasi dari model kebutuhan energi listrik ditunjukkan pada Tabel I. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa *base model* sudah mewakili sistem nyata.

C. Model Skenario Parameter

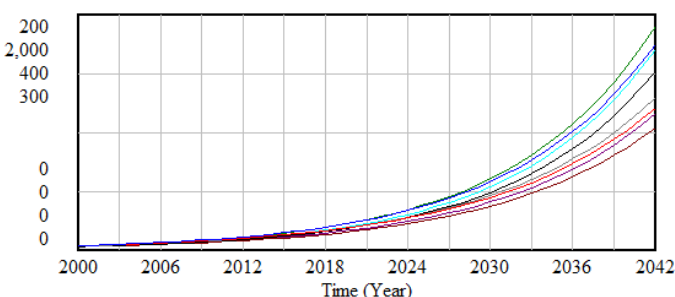
Model skenario dilakukan dengan cara mengubah nilai parameter. Dalam hal ini sub model kebutuhan energi listrik akan diberi perlakuan atau perubahan nilai parameter. Pada skenario parameter ini dibagi menjadi empat.



Gbr. 6 Skenario *do-nothing* model kebutuhan energi listrik Pulau Madura



Gbr. 7 Skenario Optimistis Model Kebutuhan Energi Listrik



Gbr. 8 Skenario *Most Likely* Model Kebutuhan Energi Listrik

1) *Skenario do-nothing*: Rata-rata pertumbuhan permintaan energi listrik di Indonesia adalah 9% [12]. Hasil skenario *do-nothing* kebutuhan energi listrik pada Gbr.6. Rentang waktu yang digunakan pada skenario ini adalah tahun 2000 sampai 2042. Terlihat bahwa Kabupaten Sumenep memiliki permintaan energi yang paling tinggi pada tahun 2042

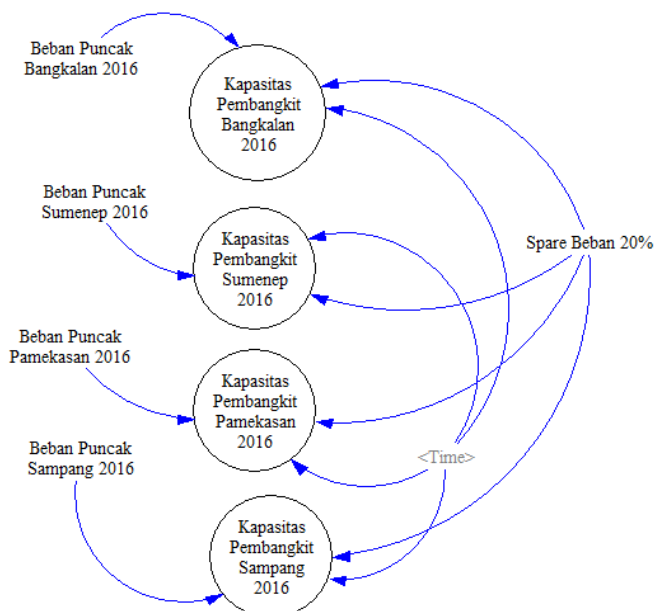
2) *Skenario Optimistis*: Pada skenario optimistis diasumsikan pertumbuhan permintaan energi listrik mencapai 12% per tahun. Grafik hasil skenario optimistis model kebutuhan energi listrik Pulau Madura pada Gbr.7.

3) *Skenario Most Likely*: Pada skenario *most likely* diasumsikan pertumbuhan permintaan energi listrik mencapai 10% per tahun. Hasil *running* simulasi skenario *most likely* kebutuhan energi listrik Pulau Madura pada Gbr.8.

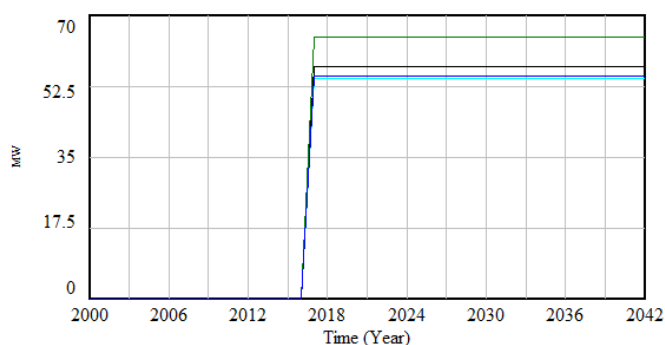
4) *Model Skenario Struktur*: Pembuatan model skenario dapat dilakukan dengan menambahkan variabel dan parameter yang memiliki pengaruh dominan terhadap *base model*. Dalam pengerjaan penelitian ini digunakan skenario struktur, yaitu dengan menambahkan beberapa sub model skenario, diantaranya sub model perencanaan kapasitas pembangkit listrik, sub model rasio pemenuhan kebutuhan energi listrik PLTA, sub model utilisasi pembangkit listrik dan sub model *payback period* PLTA.

D. Model Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik

Terdapat beberapa faktor yang diperhatikan dalam memodelkan kapasitas energi listrik seperti pada Gbr.9. Diantaranya total kebutuhan daya yang diperlukan dalam suatu daerah serta *reserve margin*. *Spare* daya atau *reserve margin* adalah cadangan daya pembangkit terhadap beban puncak dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Berdasarkan kebutuhan daya per daerah yang sudah dirumuskan sebelumnya, ditambah dengan *spare* daya sebesar 20% [11], maka dapat dibuat model untuk total kebutuhan daya listrik sebagai berikut. Dari hasil *running* simulasi didapatkan bahwa Kabupaten Pamekasan memiliki beban paling tinggi yaitu 64,704 mw per tahun pada Gbr.10.



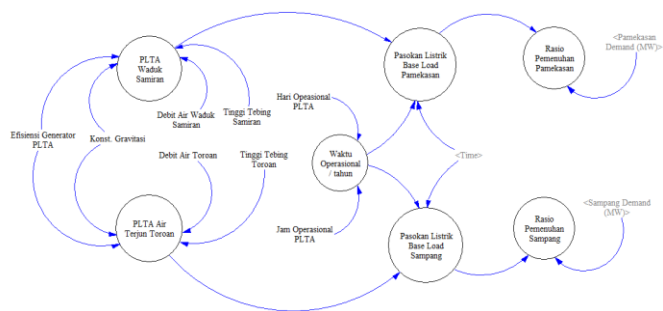
Gbr 9. Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik Kabupaten Madura



Gbr. 10 Hasil Running Model Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik

E. Model Aspek Teknis PLTA dan Rasio Pemenuhan Kebutuhan

Model aspek teknis PLTA dibuat untuk mengidentifikasi variabel apa saja yang perlu diperhatikan dalam merencanakan pembangkit listrik tenaga air serta untuk menghitung berapa besar daya yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan kabupaten setempat. Berikut Gbr.11 adalah model aspek teknis dan rasio pemenuhan kebutuhan listrik di Kabupaten Sampang dan Pamekasan.



Gbr.11 Aspek Teknis PLTA dan Rasio Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik di Madura

Variabel yang perlu diperhatikan dalam merancang PLTA adalah debit air sungai, tinggi tebing, efisiensi generator dan konstanta gravitasi [6]. Berikut adalah rumus daya yang dibangkitkan dari PLTA:

$$P = Q * g * H * \eta \quad (3)$$

Dimana:

P : Daya yang dibangkitkan

Q : Debit Air Sungai

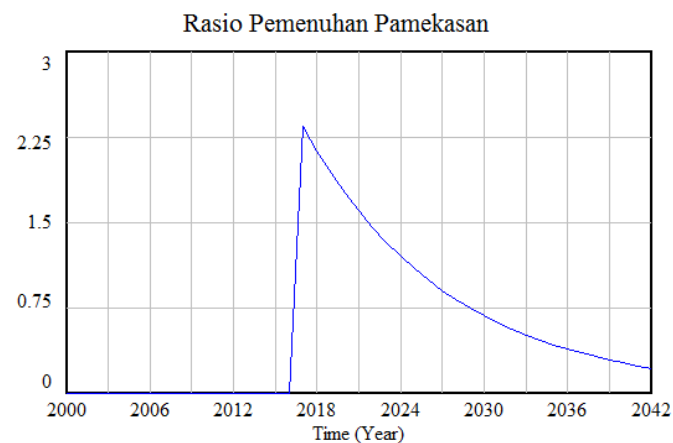
g : Konstanta Gravitasi (9,8 m/s²)

H : Tinggi Tebing

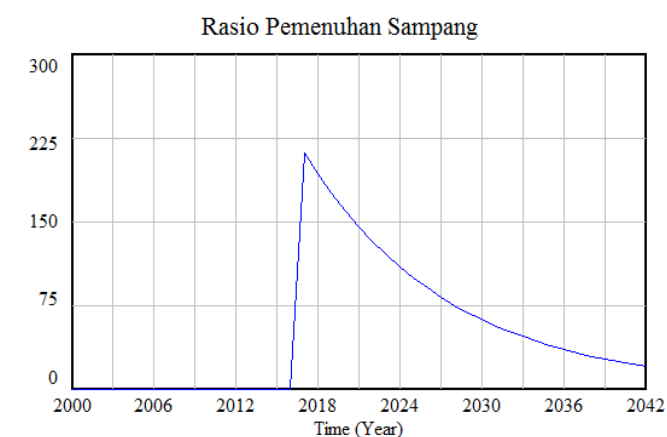
η : Efisiensi Generator PLTA

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil bahwa daya yang dibangkitkan dari PLTA samiran sebesar 51 kW sedangkan PLTA Toroan sebesar 756 kW. Sedangkan untuk mengetahui jumlah pasokan listrik pembangkit *base load* per-tahun maka kita perlu menambah variabel waktu operasi per tahun. Pasokan *base load* dari daerah Pamekasan adalah sekitar 410 mWh per tahun, sedangkan pasokan *base load* dari Sampang adalah 6070 mWh per tahun diperlihatkan pada Gbr.12.

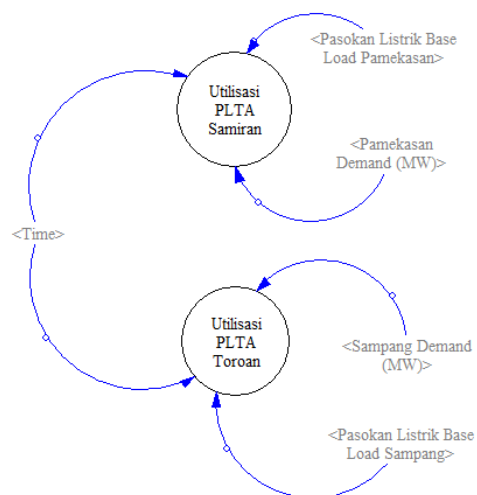
Rasio pemenuhan kebutuhan listrik adalah perbandingan jumlah pasokan listrik dengan jumlah pelanggan listrik di suatu wilayah. Rasio pemenuhan kebutuhan listrik di Kabupaten Pamekasan mencapai 22% pada tahun 2042, sedangkan Kabupaten Sampang mencapai 20% diperlihatkan pada Gbr.13.



Gbr.12 Hasil Simulasi Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik Kabupaten Pamekasan dengan PLTA Samiran



Gbr.13 Hasil Simulasi Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik Kabupaten Sampang dengan PLTA Toroan

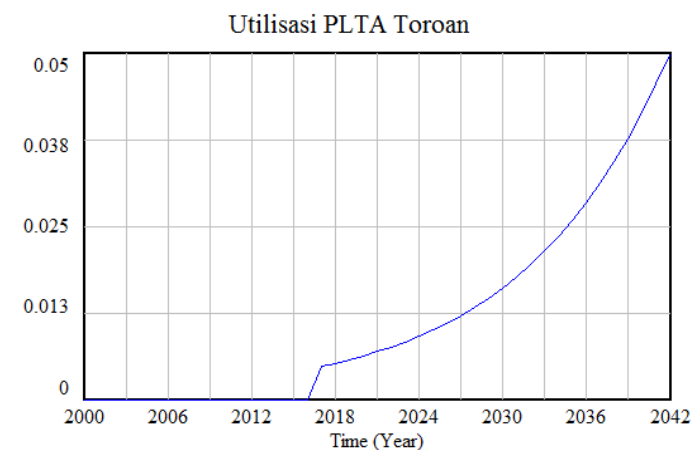


Gbr. 14 Model Utilisasi PLTA Pulau Madura

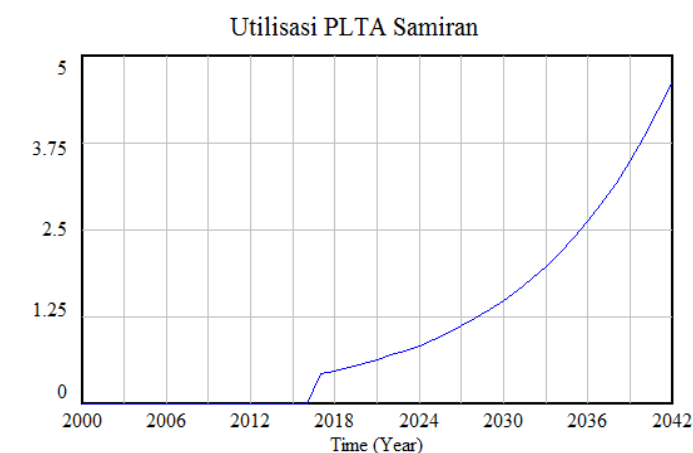
F. Model Utilisasi PLTA

Model utilisasi pembangkit listrik seperti Gbr.14 diperlukan untuk menghitung seberapa besar pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air untuk memenuhi permintaan di suatu daerah. Berikut adalah model utilisasi pembangkit

listrik untuk Kabupaten utama di Pulau Madura. Utilisasi PLTA Samiran mencapai 46% sedangkan PLTA Toroan mencapai 50%. berikut Gbr.15 dan Gbr.16 adalah hasil simulasi utilisasi PLTA terhadap kebutuhan listrik di Madura.



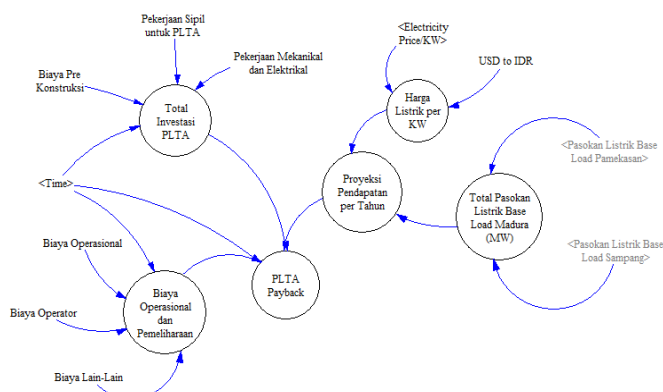
Gbr.15 Hasil Simulasi Utilisasi PLTA Terhadap Kebutuhan Listrik Kabupaten Sampang



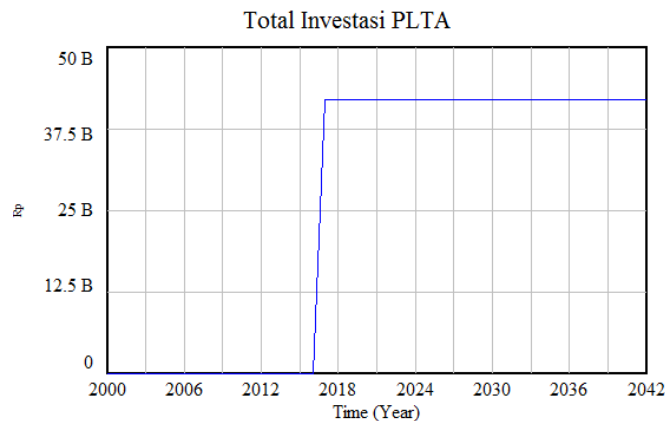
Gbr.16 Hasil Simulasi Utilisasi PLTA Terhadap Kebutuhan Listrik di Kabupaten Pamekasan

G. Aspek Ekonomis PLTA

Aspek ekonomi pembangunan PLTA ditentukan oleh biaya investasinya. Diantaranya biaya pre-konstruksi, pekerjaan sipil, pekerjaan mekanikal dan elektrik [1]. Serta, pembelian kendaraan operasional, *spare part* serta fasilitas lainnya yang diperlukan dalam menunjang kegiatan maupun produksi perusahaan. Berikut Gbr.17 adalah model aspek ekonomis dari pengembangan PLTA Madura.



Gbr 17. Model Aspek Ekonomis PLTA Madura



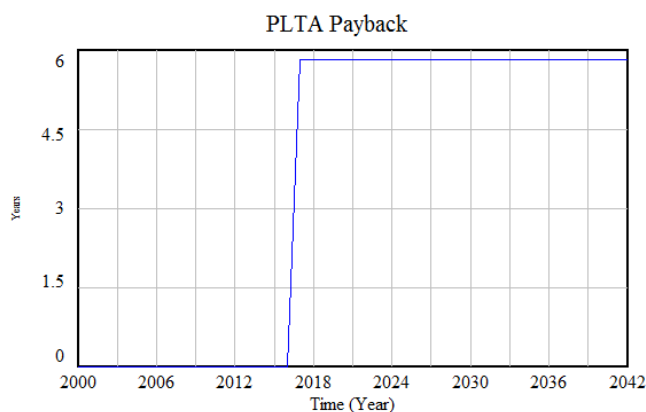
Gbr. 18 Total Investasi PLTA Madura

TABEL II
BIAYA INVESTASI DAN PROYEKSI PENDAPATAN PER TAHUN
PLTA MADURA (AFIFUDDIN, 2009)

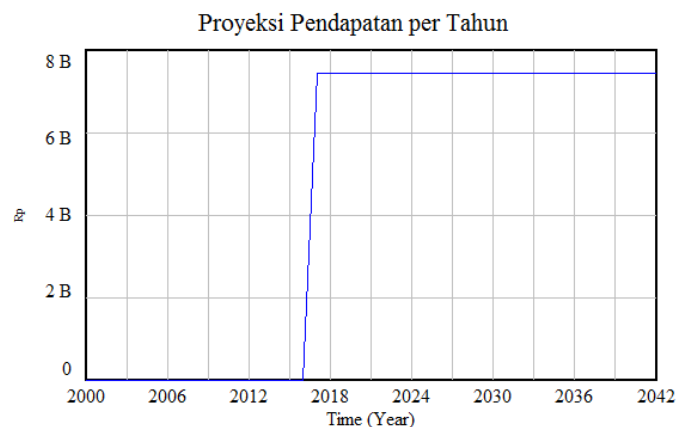
Investasi Awal		
No	Jenis Investasi	Biaya (Rp)
1	Pra-Konstruksi	55.751.374.070
2	Pekerjaan Sipil (2 Lokasi)	20.000.000.000
3	Mekanikal elektrikal (2 lokasi)	10.000.000.000
Total		85.751.374.070
Operasional + Pemeliharaan		
1	Biaya Operasional	135.000.000
2	Gaji Operator	60.000.000
3	Lain-Lain	20.250.000.
Total		215.250.000
Proyeksi Pendapatan		
1	Harga per kw (8 cents USD)	1.148
2	Suplai listrik per tahun (mw)	6.487
Proyeksi Pendapatan per tahun		7.447.000.000

Masih mengacu pada penelitian Afifuddin (2009), total kegiatan investasi pra-konstruksi PLTA membutuhkan biaya sebesar Rp 55.751.374.070. Biaya ini antara lain digunakan untuk perizinan pembangunan PLTA, kepemilikan lahan serta pembelian desain dan mesin. Pelaksanaan proyek pembangkit listrik pada kepulauan mengharuskan perusahaan untuk mandiri dan memiliki fasilitas infrastruktur yang lengkap. Berikut adalah rincian biaya total investasi yang diperlukan dalam proyek pembangunan PLTA.

Berdasarkan perhitungan pada Tabel II maka lama pengembalian investasi PLTA adalah 5,8 tahun. Proyeksi pendapatan dari penjualan listrik PLTA yaitu 7.447.000.000 per tahun. Berikut pada Gbr.18, Gbr.19 dan Gbr.20 adalah hasil simulasi dari model aspek ekonomis pembangunan PLTA.



Gbr. 19 Lama Pengembalian Investasi PLTA



Gbr. 20 Proyeksi Pendapatan per Tahun.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan pemodelan skenario, maka dapat disimpulkan bahwa perencanaan PLTA sangat diperlukan dalam rangka menjaga keberlanjutan *supply* dan *demand* di kepulauan khususnya Madura. Selain itu pembangunan PLTA juga mendukung pemerintah dalam memanfaatkan sumber daya alam terbarukan sebagai energi utama. Aspek teknis yang perlu diperhatikan dalam merencanakan PLTA adalah debit air sungai, tinggi tebing, konstanta gravitasi dan efisiensi generator PLTA.

Pasokan listrik PLTA untuk Kabupaten Pamekasan adalah sekitar 410 mw per tahun sedangkan untuk Kabupaten Sampang sebesar 6070 mw per tahun. Pada tahun 2042, rasio pemenuhan kebutuhan listrik di Kabupaten Pamekasan mencapai 22% sedangkan Kabupaten Sampang 20%. Investasi PLTA akan kembali (*Payback*) setelah kurang lebih 5,8 tahun dari pengoperasian PLTA. Dari hasil teknis maupun ekonomis membuktikan bahwa di Madura layak untuk dikembangkan PLTA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan terima kasih yang sebesar besarnya kepada ibu Erma Suryani, Ph.D selaku pembimbing utama dalam menulis penelitian ini. Selanjutnya penulis juga sampaikan terima kasih kepada Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang sudah memberikan fasilitas dalam mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afifuddin, A., 2009. Analisis Dampak Krisis Global Terhadap Kelayakan PLTA Pamona 2.
- [2] Axella, O. & Suryani, E., 2012. Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur). *Jurnal Teknik ITS*, Volume 1, pp. 339-344
- [3] Lestari, N. P., Tama, I. P. & Hardiningtyas, D., 2014. Analisis Sistem Produksi Terhadap Profit Perusahaan Dengan Pendekatan Simulasi Sistem Dinamik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, Volume 2, pp. 952-963
- [4] Rahawuryan, F., Marsudi, S. & Purwati, E., 2015. Studi Kelayakan Perencanaan Plta Kesamben Kabupaten Blitar Jawa Timur
- [5] Forrester, J. W., 1968. *Principle of System*. Massachusetts: Wright-Allen Press Inc
- [6] Marsudi, D., 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga
- [7] Suryani, E., 2006. *Pemodelan dan Simulasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [8] Winardi, 1989. *Pengantar Tentang Teori Sistem dan Analisis Sistem*. Bandung: Mandar Maju
- [9] Barlas, Y., 1996. *Multiple Test For Validation os System Dynamics Type of Simulation Model*. Turkey: s.n
- [10] Kementerian_ESDM, 2015. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2015-2034*, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- [11] PLN, 2014. *STATISTIK PLN*, Jakarta: Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero)
- [12] [Anon., 2016. [Online]
Available at: <http://www.pln.co.id>
- [13] JPNN, 2013. *Jawa Pos News Network/daerah*. [Online]
Available at: <http://www.jpnn.com/news/puluhan-desa-belum-teraliri-listrik>