



**SIMULASI APLIKASI PERANCANGAN DAYA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA)
MENGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB* DI WADUK
PANOHAN KABUPATEN REMBANG**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Restyanto Novatama

NIM.5301414015

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Restyanto Novatama
NIM : 5301414015
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik
Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* Di
Waduk Panohan Kabupaten Rembang

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 30 April 2019

Pembimbing,



Drs. Agus Suryanto, M.T.

NIP. 196708181992031004

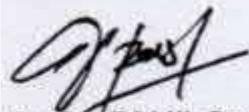
PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “SIMULASI APLIKASI PERANCANGAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB* DI WADUK PANOHAN KABUPATEN REMBANG” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 Mei 2019.

Oleh
Nama : Restyanto Novatama
NIM : 5301414015
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua Panitia



Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T.
NIP. 197805312005011002

Sekretaris



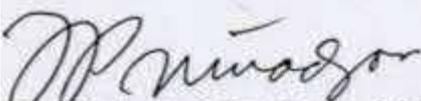
Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji 1



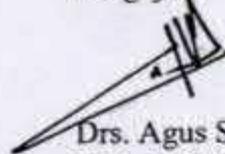
Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM
NIP. 195907051986011002

Penguji 2



Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.
NIP. 196209021987031002

Penguji 3



Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Drs. Nur Qadus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 30 April 2019

Yang membuat pernyataan,



Restyanto Novatama

NIM. 5301414015

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

Mengajar itu mudah, yang susah itu mendidik. Karena mendidik adalah tugas orang terdidik.

Persembahan :

1. Bapak dan Ibuk tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayangNya serta memberikan doa kepadaku tanpa henti. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan kepada mereka serta selalu diselimuti rahmatNya.
2. Saudara-saudaraku tercinta yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, dan doa.
3. Teman-teman dari daerah asal maupun perantauan yang kadang ada dan kadang tidak.
4. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro angkatan 2014 yang saya sayangi, saya ucapkan maaf karena saya yang tertutup di awal semester dan terlambat akrab dengan kalian.

RINGKASAN

Novatama, Restyanto. 2019. *Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan Software Matlab Di Waduk Panohan Kabupaten Rembang*. Drs. Agus Suryanto, M.T. Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Sekarang ini banyak *software* yang dirilis untuk memudahkan pekerjaan. Contohnya *Matlab*, terdapat fitur *Gui* untuk membuat sebuah aplikasi. Dengan berkembangnya teknologi, seharusnya juga banyak pemanfaatan energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Kabupaten Rembang mempunyai Waduk Panohan yang fungsinya sebagai sumber air baku dan irigasi. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi aplikasi dengan *Matlab* yang dapat menghitung dan memprediksi daya listrik yang dihasilkan dari sebuah waduk agar menjadi informasi layak atau tidaknya sebuah waduk dibangun sebuah PLTA.

Simulasi aplikasi ini menggunakan model pengembangan sekuensial *linier* atau *waterfall* yang kemudian dikerjakan dengan *Gui Matlab R2012a* dengan memasukkan persamaan menghitung daya listrik dan metode prediksi *Least Square*. Setelah simulasi aplikasi ini jadi, akan dilakukan uji komparasi terhadap hasil hitungnya dengan hitung manual, *Excel*, dan *Minitab* untuk mengetahui berapa persen kesalahan hitung dari simulasi aplikasi ini.

Hasil penelitian simulasi aplikasi yang dirancang dengan *Gui Matlab R2012a* berhasil dibuat dan kemudian dinamai *Power Simulation Of Hydropower Plant*. Angka hasil hitung daya listrik dan prediksi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun terdapat perbedaan sifat pada pembulatan dibelakang koma (.) terhadap komparasinya. Kemudian untuk tingkat akurasi metode *Least Square* adalah 91.793349% untuk menyelesaikan masalah prediksi.

Kata kunci : *Simulasi Aplikasi, Matlab, Daya Listrik, Least Square, PLTA*.

PRAKATA

Segala puji dan syukur peneliti ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* Di Waduk Panohan Kabupaten Rembang. Peneliti menyadari sepenuhnya, tanpa bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Yth:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T., Ketua Jurusan Teknik Elektro serta Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro.
4. Drs. Agus Suryanto, M.T., Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi kepada peneliti dalam penyusunan skripsi ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro FT. UNNES.
6. Pihak BBWS Pemali Sungai Juwana dan Pengelola Waduk Panohan yang sudah memberi izin dan membantu dalam proses penelitian.
7. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Peneliti berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya bagi peneliti sendiri dan masyarakat serta pembaca pada umumnya.

Semarang, 30 April 2019

Penulis



Restyanto Novatama

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	6
1.3 Pembatasan Masalah	7
1.4 Rumusan Masalah	7
1.5 Tujuan Penelitian	8
1.6 Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Kajian Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Simulasi	14
2.2.2 <i>Software Matlab</i>	16
2.2.3 Potensi Energi Air	24
2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	26
2.2.5 Prinsip Kerja PLTA	26
2.2.6 Daya Listrik PLTA	28
2.2.7 Jenis-jenis PLTA	31

	Halaman
2.2.8 Kelebihan dan Kekurangan PLTA	37
2.2.9 Waduk Panohan	44
2.2.10 Pengertian Prediksi (<i>Forecasting</i>)	46
2.2.11 Jangka Waktu Peramalan	47
2.2.12 Langkah-langkah Proses Peramalan	48
2.2.13 Metode <i>Least Square</i>	49
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	54
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	64
3.2.1 Perangkat Lunak	64
3.2.2 Perangkat Keras	64
3.3 Teknik Pengumpulan Data	65
3.4 Teknik Analisis Data	66
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	67
4.1.1 <i>Power Simulation Of Hydropower Plant</i>	67
4.2 Analisis Data	73
4.2.1 Analisis Volume Waduk dan Debit Air	73
4.2.2 Analisis Daya Listrik yang Dihasilkan.....	75
4.2.3 Analisis Daya Listrik 5 Tahun Kedepan	80
4.2.4 Hasil Uji Komparasi	84
4.3 Pembahasan	90
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jumlah curah hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2015.....	39
Tabel 2.2 Jumlah curah hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2016	40
Tabel 2.3 Jumlah hari hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2015	41
Tabel 2.4 Jumlah hari hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2016	42
Tabel 2.5 Jumlah hari hujan dan curah hujan menurut Kecamatan di Kabupaten Rembang tahun 2015 dan 2016	43
Tabel 2.6 Data Teknis Waduk Panohan	44
Tabel 3.1 Skenario <i>Use Case</i> masuk <i>Main Menu</i>	57
Tabel 3.2 Skenario <i>Use Case</i> masuk menu <i>File</i>	57
Tabel 3.3 Skenario <i>Use Case</i> masuk menu <i>Work Window</i>	57
Tabel 3.4 Skenario <i>Use Case</i> masuk menu <i>About</i>	58
Tabel 3.5 Skenario <i>Use Case</i> masuk menu <i>Help</i>	58
Tabel 3.6 Instrumen Uji Komparasi	63
Tabel 3.7 Spesifikasi Laptop HP Pavilion g4 Notebook PC	64
Tabel 3.8 Lembar Pengambilan Data Penelitian	66
Tabel 4.1 Data Volume dan Debit Tahun 2014 - 2017	74
Tabel 4.2 Hasil Uji Komparasi	84

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Memulai <i>GUIDE</i>	18
Gambar 2.2 <i>GUIDE Quick Start</i>	19
Gambar 2.3 Tampilan <i>GUIDE</i>	20
Gambar 2.4 Komponen <i>GUIDE</i>	20
Gambar 2.5 <i>Pushbutton</i>	21
Gambar 2.6 Aplikasi beberapa <i>UIControl</i>	22
Gambar 2.7 Aplikasi <i>Slider Control</i>	23
Gambar 2.8 Skematik PLTA	27
Gambar 3.1 Ilustrasi Model <i>Waterfall</i>	54
Gambar 3.2 Peta Konsep Desain Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	56
Gambar 3.3 Desain Tampilan <i>Main Menu</i>	59
Gambar 3.4 Desain Tampilan Menu <i>Work Window</i>	59
Gambar 3.5 Desain Tampilan Menu <i>About</i>	59
Gambar 3.6 Desain Tampilan Menu <i>Help</i>	60
Gambar 4.1 Tampilan <i>Main Menu</i>	68
Gambar 4.2 Tampilan Menu <i>Work Window</i>	69
Gambar 4.3 Tampilan <i>Results</i>	71
Gambar 4.4 Tampilan Menu <i>About</i>	72
Gambar 4.5 Tampilan Menu <i>Help</i>	73
Gambar 4.6 Daya Listrik yang Dihasilkan.....	78
Gambar 4.7 Grafik Daya Listrik per Bulan	79
Gambar 4.8 Prediksi Daya Listrik yang Dihasilkan 5 Tahun Kedepan	83
Gambar 4.9 Grafik Prediksi Daya Listrik 5 Tahun Kedepan	83

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Coding Power Simulation of Hydropower Plant</i>	100
Lampiran 2 Surat Penetapan Dosen Pembimbing	107
Lampiran 3 Surat Observasi	108
Lampiran 4 Surat Balasan Observasi	109
Lampiran 5 Surat Tugas Penguji Ujian Seminar Proposal	110
Lampiran 6 Berita Acara Ujian Seminar Proposal	111
Lampiran 7 Surat Penelitian	112
Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian	113
Lampiran 9 Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi.....	114
Lampiran 10 Berita Acara Pelaksanaan Ujian Skripsi.....	115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini perkembangan ilmu komputer dengan berbagai inovasi telah memberikan kontribusi yang cukup berarti bagi kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan yaitu dengan adanya *software – software* yang dirilis, serta dapat membantu para peneliti, perancang serta praktisi lainnya (Suryanto dkk, 2017). Hal ini dapat dilihat dengan adanya beberapa perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan – perusahaan untuk dapat digunakan sebagai pembuatan model sebuah penelitian atau rancangan sebelum dilakukan atau diaplikasikan secara nyata. Selain murah karena peneliti hanya melakukan dengan simulasi komputer juga praktis dan efisien, walaupun terkadang ada penyimpangan dengan kondisi nyata dilapangan, akan tetapi estimasi – estimasi yang dihasilkan dari pemodelan cukup membantu untuk memberikan gambaran dalam proses nyata (Sentia dkk, 2017). Salah satu *Software* yang dapat dimanfaatkan untuk menampilkan grafis dalam satu atau lebih jendela berisikan kontrol dan komponen, yang memungkinkan pengguna untuk melakukan hal-hal interaktif ialah *Software Matlab*. Didalam *Software Matlab* ini pengguna tidak perlu membuat *script* atau mengetik perintah di baris perintah untuk menyelesaikan tugas-tugas. *Matlab UI* dapat dibangun dengan menggunakan 2 cara, yaitu membuat *UI* menggunakan *GUI Designer* dan membuat *UI* dengan pemrograman (Hasibuan dkk, 2017). Oleh karena itu, peneliti dapat

memanfaatkan perkembangan ilmu pengetahuan dengan menggunakan *Software Matlab* untuk membuat sebuah simulasi aplikasi yang dapat memudahkan pekerjaan dengan menggunakan fitur *gui*.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, sudah seharusnya peneliti dapat memenuhi kebutuhan energi yang sering peneliti gunakan sehari-hari dengan energi terbarukan. Salah satu energi yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah energi listrik. Energi listrik adalah energi yang mudah dikonversikan ke dalam bentuk energi yang lain. Hal ini sudah selayaknya sebagai dampak meningkatnya seluruh aktivitas kehidupan yang menggunakan energi listrik. Kebutuhan energi dalam kehidupan manusia di dunia masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi (Yuningsih dan Masduki, 2011). Di Indonesia, masalah energi menjadi lebih penting karena perlu mendapatkan penanganan yang khusus. Sekitar 80% kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi oleh minyak bumi, harga minyak dan konsumsi minyak bumi yang cenderung meningkat dengan pesat setiap tahun, serta banyak sumber energi alternatif di Indonesia yang perlu dikembangkan (Lubis, 2007). Pokok-pokok mengenai energi telah dicantumkan dalam Kebijakan Energi Nasional yang bertujuan menghemat bahan bakar minyak bumi dan pengembangan sumber-sumber energi alternatif lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, Presiden menekankan perlunya penghematan bahan bakar minyak dalam negeri, terutama untuk kebutuhan yang tidak dapat digantikan dengan bentuk energi yang lain, seperti transportasi, *feedstock* industri, dan lain sebagainya. Selain itu, energi lainnya (energi alternatif) juga perlu dimanfaatkan secara optimal, yakni energi yang berasal dari tenaga air, panas bumi, matahari, dan

lain sebagainya (Yuningsih dan Masduki, 2011). Dalam pemenuhan energi listrik yang peneliti gunakan sehari-hari ini tidak seharusnya hanya mengandalkan pasokan dari pemerintah, apalagi terlalu sering mengandalkan minyak bumi. Energi alternatif harus mendapat perhatian, khususnya untuk pemanfaatannya di era modern ini.

Melihat potensi sumber energi alternatif yang ada di Indonesia kini, peneliti ingin mencoba memanfaatkan potensi dari tenaga air untuk dimanfaatkan. Kondisi sumber air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Dari tenaga air ini, dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit listrik yang mempunyai jenis skala beragam, PLTA Mikro (100 –1000kW), PLTA Menengah (≥ 10.000 kW), PLTA Tinggi (> 10.000 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air dan tinggi terjun air dari bendungan yang dibuat secara *artificial* yang berfungsi sebagai sumber penghasil energi. PLTA dipilih karena termasuk sumber energi terbarukan, layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan, dan mudah dioperasikan serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTA mudah diterima masyarakat luas (bandingkan misalnya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

PLTA biasanya dibuat karena adanya sebuah aliran sungai yang melimpah sehingga dapat dibendung atau dibuat waduk.

Di Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah terdapat sebuah waduk yang bernama Waduk Panohan. Waduk ini sendiri berada di daerah pengunungan dan berasal dari bendungan Sungai Grobogan yang memiliki luas DAS (Daerah Aliran Sungai) hingga 23km². Selama ini fungsi dari waduk tersebut hanya untuk wisata, pengairan/irigasi, dan air baku. Padahal jika Waduk Panohan ini dimanfaatkan untuk sebuah PLTA sebagai sarana pembangkit tenaga listrik alternatif, daerah ini mungkin akan menjadi percontohan daerah yang mandiri dan pandai dalam memanfaatkan energi alternatif untuk kebutuhan listrik mereka. Karena ada beberapa desa di Kabupaten Rembang yang masih kurang dalam kebutuhan listriknya, contohnya dalam pemenuhan kebutuhan listrik di daerah tersebut, masyarakat hanya mengandalkan energi listrik dari PLN. Akan tetapi, tidak semua rumah mendapatkan daya listrik sesuai yang mereka butuhkan, daya listrik hanya 450watt sedangkan alat-alat elektronik warga mulai meningkat, juga meningkatnya kebutuhan listrik di bangunan-bangunan umum seperti sekolah ataupun puskesmas.

Peningkatan kebutuhan listrik harus diikuti dengan penyedia tenaga listrik, dalam hal ini PT. PLN. Daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang dihasilkan konsumen. Apabila pembangkitan daya tidak mencukupi kebutuhan konsumen, maka akan ditandai turunnya frekuensi dalam sistem kurang dari 50 Hz dan dapat terjadi pemadaman lokal pada beban, yang akibatnya dapat merugikan konsumen. Sebaliknya, apabila daya yang dibangkitkan lebih besar

maka frekuensi sistem akan naik (Marsiana dkk, 2014). Oleh karena itu diperlukan penyesuaian antara pembangkitan dengan permintaan daya. Untuk menjaga stabilitas tersebut, pembangkit listrik harus dapat memperkirakan, maka dapat mempengaruhi kesiapan unit pembangkit untuk menyediakan pasokan listrik kepada konsumen (Maulana dan Muslim, 2015). Prediksi listrik jangka panjang yaitu prediksi beban listrik untuk rencana operasional jangka panjang tahunan yang memiliki tujuan untuk menentukan kapasitas dan ketersediaan unit pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi (Arifah dkk, 2017). Oleh karena itu prediksi sangat membantu agar stabilitas antara produsen listrik dan kosumennya terjaga, salah satu metode prediksi yang memiliki nilai kesalahan yang rendah ialah metode *Least Square*.

Matrix Laboratory atau bisa disebut *Matlab* merupakan sebuah software yang didalamnya terdapat sebuah *display gui* atau biasa disebut *guide (gui builder)*, tujuan penggunaan gui yaitu membuat program terlihat lebih simple dan praktis bagi para *user* sekalipun *user* adalah orang awam yang tidak paham tentang kerumitan program didalamnya. Melalui fitur *gui* ini, peneliti dapat membuat sebuah simulasi aplikasi yang dapat diisikan tugas, perintah, komponen program, dan persamaan prediksi *least square* sesuai yang peneliti ingin buat dan ditampilkan dalam tampilan yang menarik.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti akan melakukan penelitian dengan memanfaatkan *Software Matlab* yang membantu dalam penghitungan dan prediksi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh Waduk Panohan, sehingga dapat menjadi rekomendasi jika dibangun sebuah PLTA melihat dari segi daya yang dihasilkan.

Penelitian tersebut kemudian diberi judul “**SIMULASI APLIKASI PERANCANGAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATLAB* DI WADUK PANOHAN KABUPATEN REMBANG**”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di kemukakan di atas, masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Adanya *Software Matlab* yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan pengolahan sinyal, aljabar linear dan kalkulasi matematis.
2. Sumber energi di Indonesia masih mengandalkan minyak bumi, sedangkan harga dari minyak bumi dari hari ke hari makin naik.
3. Perlunya penghematan bahan bakar minyak dalam negeri, terutama untuk kebutuhan yang tidak dapat digantikan dan mengoptimalkan energi terbarukan.
4. Kabupaten Rembang memiliki waduk yang bernama Waduk Panohan yang fungsinya sampai saat ini hanya untuk pengairan/irigasi, dan air baku.
5. Pengoptimalan energi terbarukan melalui pemanfaatan Waduk Panohan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Kabupaten Rembang.
6. Pemenuhan kebutuhan listrik yang kurang merata di Kabupaten Rembang.
7. Perlunya prediksi daya listrik yang dapat dihasilkan.

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk menghindari adanya kesalahpahaman dan menghindari pembahasan terlalu melebar, masalah yang dibahas pada Simulasi Aplikasi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Air ini akan dibatasi pada :

1. Pembuatan simulasi aplikasi menggunakan *Software Matlab*.
2. Penelitian ini hanya sebatas simulasi perancangan daya listrik PLTA dengan mengetahui berupa luas penampang waduk, debit air, tinggi terjun air, jenis turbin, generator, stabilizier/trafo.
3. Data yang diambil idealnya 1 tahun untuk mengetahui perbandingan saat kemarau dan penghujan.
4. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan perancangan dari segi sipil ataupun biaya operasi.
5. Penelitian ini hanya menggunakan data yang diambil dari Waduk Panohan, Desa Panohan, Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang.
6. Prediksi daya yang dihasilkan hanya 5 tahun kedepan dengan menggunakan metode *Least Square*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di kemukakan di atas, masalah dapat di rumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pembuatan Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* di Waduk Panohan?

2. Bagaimana cara kerja Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* di Waduk Panohan?
3. Bagaimana perhitungan prediksi daya listrik yang dapat dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Waduk Panohan untuk 5 tahun yang akan datang?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah :

1. Membuat aplikasi dengan menggunakan *Software Matlab* yang dapat mensimulasikan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air di Waduk Panohan.
2. Menguasai cara kerja Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* di Waduk Panohan.
3. Mendapatkan hasil total produksi listrik yang dapat dihasilkan di PLTA Waduk Panohan 5 tahun yang akan datang.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah :

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini di harapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, sekurang-kurangnya dapat berguna sebagai sumbangan pemikiran bagi

dunia pendidikan dan untuk menambah perbendaharaan penelitian dalam bidang aplikasi perancangan.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi peneliti ialah untuk mengetahui bagaimana membuat Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air di Waduk Panohan.
- b. Bagi pengguna, masyarakat atau pemerintah setempat bisa memberikan rekomendasi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air di Waduk Panohan.
- c. Bagi pihak lain ialah sebagai bahan referensi dan tambahan informasi yang dapat digunakan sebagaimana mestinya untuk pembuatan aplikasi-aplikasi perancangan lainnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka berisi tentang penelitian – penelitian sebelumnya yang mendukung dan menjadi tambahan landasan teori berkaitan dengan Simulasi Aplikasi Perancangan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan *Software Matlab* Di Waduk Panohan, Kabupaten Rembang.

1. Penelitian Fauzi Al Faruq, (2014) dengan Judul Simulasi Gelombang Berjalan Dengan Menggunakan *Software Matlab* Versi 7.14 yang hasilnya yaitu dalam gelombang berfrekuensi sama (sefasa) terjadi gelombang *cosinus* secara kontinyu berulang seperti siklus sebelumnya. Karena semua siklus gelombang *cosinus* berulang adalah sama maka periode adalah tetap untuk gelombang *cosinus*, bentuk inteferensi destruktif yang masih dalam gelombang sefase akan saling meniadakan atau resultan superposisi gelombangnya = 0. Dalam gelombang berfrekuensi berbeda (beda fasa) memiliki bentuk dan frekuensi gelombang yang sama dengan visualisasi gelombang sefase, kemudian setelah diproses bentuk grafik berbeda dengan bentuk grafik pada visualisasi gelombang sebelumnya walaupun dengan nilai masukan yang sama menghasilkan dua pola gelombang.
2. Penelitian Cynthia Puspa Luvita, (2017) dengan judul Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau

yang hasilnya yaitu debit andalan yang digunakan dalam perencanaan PLTA adalah debit *outflow* total dari simulasi waduk sebesar 55,82 m³/det, berdasarkan hasil analisa untuk mengalirkan debit sebesar 55,82m³/det digunakan dua buah pipa pesat masing-masing pipa memiliki diameter sebesar 3m untuk mengalirkan debit sebesar 30,701m³/det, tinggi jatuh efektif pada perencanaan PLTA adalah sebesar 9,97m, jenis turbin yang digunakan adalah tipe *kaplan* berjumlah dua buah dengan total daya yang dapat dihasilkan sebesar 14,40MW.

3. Penelitian Nadia Ulfah, (2018) dengan judul Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di Sungai Sibundong *Upper* Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara yang hasilnya yaitu debit andalan yang digunakan dalam perencanaan PLTA Sibundong *Upper* adalah 60% sebesar 13,04 m³/det, pada perencanaan PLTA Sibundong *Upper* direncanakan pipa pesat dengan adanya percabangan, pipa pesat utama panjangnya 420 m dengan diameter 2 m dan pipa pesat cabang sepanjang 50 m dengan diameter 1,4 m dengan tebal pipa pesat 21 mm, tinggi jatuh efektif pada perencanaan PLTA Sibundong *Upper* adalah sebesar 143,86 m, jenis turbin yang digunakan pada perencanaan PLTA Sibundong *Upper* adalah jenis turbin *francis* dengan poros horizontal, besarnya daya yang dihasilkan pada perencanaan PLTA Sibundong *Upper* adalah sebesar 16,08 MW (2 x 8,04 MW) dan energi yang dihasilkan tiap tahunnya adalah sebesar 83,96 GWh dengan nilai CF sebesar 59,59%.

4. Penelitian Muhammad Nur Azmi, (2018) dengan judul Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau yang hasilnya yaitu jumlah pipa pesat ada 2 dengan diameter tiap pipa 6m dengan ketebalan 24mm, PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini memiliki *gross head* sebesar 69,46m dan memiliki total kehilangan sebesar 2,74m sehingga PLTA ini memiliki *head* efektif sebesar 66,72m, pada perencanaan turbin untuk PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini diambil turbin *francis* dengan sumbu vertikal, dari perhitungan energi PLTA Bendungan Lubuk Ambacang secara seri dari data debit tahun 1993-2014 didapatkan rerata energi tahunan sebesar 824.979,71MW dan rerata energi bulanan sebesar 68.807,68MW.
5. Penelitian Billy Mosis Priambodo, (2018) dengan judul Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di Sungai Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara yang hasilnya yaitu dalam perhitungan analisa hidrologi didapatkan hasil debit andalan $Q_{65\%}$ sebesar 18,04 m³/det, bangunan pengambilan direncanakan 2 pintu dengan lebar masing-masing 3,5 m, saluran *feeder canal* direncanakan dengan lebar saluran 7m dan panjang saluran 292m, bak pengedap direncanakan dengan sistem *camber* dimana lebar endapan 5,50x2m dan panjang endapan 44m, saluran pembawa direncanakan dengan lebar saluran 5m dan panjang saluran 1.825m, pipa pesat direncanakan dengan diameter pipa 2,40m dan ketebalan 12mm, bak penenang direncanakan dengan volume sebesar

1.623,70m³ panjang 75,50m dan lebar pelimpah 8,30m, saluran pembuang direncanakan dengan lebar 13m, dalam perhitungan daya dan energi dengan tinggi jatuh efektif sebesar 78,20m didapatkan daya sebesar 12,48MW dan energi 71,17GW dalam satu tahun.

6. Penelitian Tri Lestari, (2017) dengan judul Peramalan Beban Pada PLTA Jelok Dengan Menggunakan Metode *Least Square* yang hasilnya yaitu model persamaan metode *Least Square* yang digunakan untuk melakukan peramalan beban konsumsi listrik yaitu $Y_t = 3830.0 + 60.2 X$ dan pertumbuhan konsumsi beban listrik tiap tahun pada PLTA Jelok mencapai 1.43 % - 1.75 %, peramalan beban listrik menggunakan metode *Least Square* memiliki nilai MAPE sebesar 8.206651 %. Artinya tingkat akurasi dari metode *Least Square* adalah 91.793349 %. Metode *Least Square* secara umum memiliki kesalahan yang masih diterima perusahaan penyedia listrik, karena $MAPE < 10 \%$.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan judul peneliti dan mendukung menjadi tambahan landasan teori, maka dalam penelitian ini dilakukan pembeda dengan penelitian Cynthia Puspa Luvita (2017), Nadia Ulfah (2018), Muhammad Nur Azmi (2018), Billy Mosis Priambodo (2018), dan Tri Lestari (2017) yaitu adanya simulasi aplikasi yang di kerjakan menggunakan *Gui Matlab*. Simulasi aplikasi ini nanti fungsinya dapat digunakan untuk menghitung dan memprediksi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh Waduk Panohan menggunakan metode *Least Square* dan hanya perlu diinput sesuai data yang diperoleh dari instansi terkait tanpa perlu melakukan hitung manual ataupun praktik

secara langsung. Simulasi aplikasi ini nantinya dapat digunakan untuk menarik kesimpulan layak atau tidaknya pembangunan PLTA dengan memperhatikan luas penampung waduk, debit air, tinggi terjun air, turbin, generator.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori merupakan landasan penting yang ada dalam penelitian, berisi tentang informasi dan ilmu – ilmu dasar yang nantinya akan menjadi pedoman dalam penelitian. Bersumber dari berbagai ilmu pengetahuan dan berbagai sumber buku serta informasi yang nantinya akan dijabarkan.

2.2.1 Simulasi

1. Pengertian

Menurut Thomas J. Kakiay (2004) dalam bukunya “Pengantar Sistem Simulasi” menyatakan bahwa, “Simulasi adalah suatu sistem yang digunakan untuk memecahkan atau menguraikan persoalan-persoalan dalam kehidupan nyata yang penuh dengan ketidakpastian dengan tidak atau menggunakan model atau metode tertentu dan lebih ditekankan pada pemakaian komputer untuk mendapatkan solusinya”. Lalu menurut P Siagian (1987) menyatakan bahwa, “Simulasi ialah suatu metodologi untuk melaksanakan percobaan dengan menggunakan model dari satu sistem nyata”. Selanjutnya Menurut M. Iqbal Hasan (2002) menyatakan bahwa, “Simulasi merupakan suatu model pengambilan keputusan dengan mencontoh atau mempergunakan gambaran sebenarnya dari suatu sistem

kehidupan dunia nyata tanpa harus mengalaminya pada keadaan yang sesungguhnya”.

2. Keuntungan

Menurut Thomas J. Kakiay (2004) keuntungan-keuntungan yang terdapat dalam simulasi, diantaranya :

a. *Compress Time* (Menghemat Waktu)

Kemampuan didalam menghemat waktu ini dapat dilihat dari pekerjaan yang bila dikerjakan akan memakan waktu yang panjang, tetapi kemudian dapat disimulasikan hanya dalam waktu yang singkat.

b. *Expand Time* (Dapat Melebar luaskan Waktu)

Hal ini terlihat terutama dalam dunia statistik dimana hasil yang diinginkan dapat tersaji dengan cepat. Simulasi dapat digunakan untuk menunjukkan perubahan struktur dari suatu sistem nyata (*real system*), yang sebenarnya tidak dapat diteliti pada waktu yang seharusnya (*real time*).

c. *Stop Simulation and Restart* (Dapat dihentikan dan dijalankan kembali)

Simulasi komputer dapat dihentikan untuk kepentingan peninjauan ataupun pencatatan semua keadaan yang relevan tanpa berakibat buruk terhadap program simulasi tersebut.

2.2.2 Software Matlab

Menurut Arie Febry Fardheny (2010) bahwa, “*Matlab* adalah bahasa tingkat tinggi dan interaktif yang memungkinkan untuk melakukan komputasi secara intensif. *Matlab* telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan pengolahan sinyal, aljabar linear dan kalkulasi matematis lainnya. *Matlab* juga berisi *toolbox* yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. Penggunaan *Matlab* meliputi bidang-bidang :

1. Matematika dan Komputasi
2. Pembentukan Algoritma
3. Akuisisi Data
4. Pemodelan, simulasi dan Pembuatan Prototype
5. Analisis Data, Explorasi, dan Visualisasi
6. Grafik Keilmuan dan Bidang Rekayasa

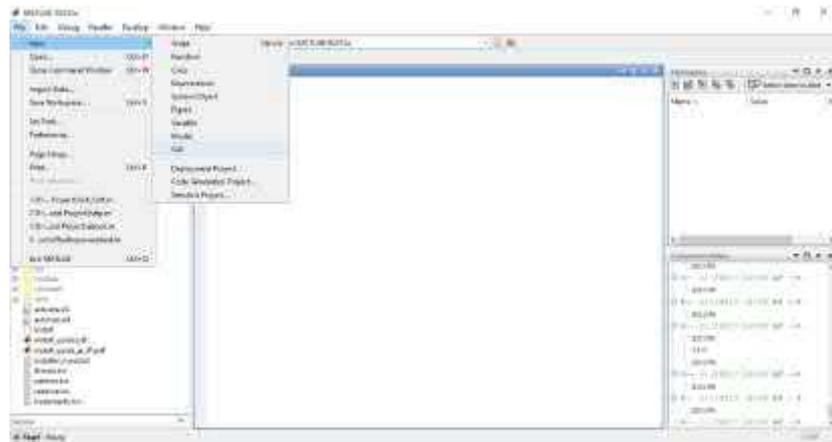
Nama *Matlab* merupakan singkatan dari *matrix laboratory*. *Matlab* pada awalnya ditulis untuk memudahkan akses perangkat lunak matrik yang telah dibentuk oleh *Linpack* dan *Eispack*. Saat ini perangkat *Matlab* telah menggabung dengan *Lapack* dan *Blas library*, yang merupakan satu kesatuan dari sebuah seni tersendiri dalam perangkat lunak untuk komputasi matrik.

Dalam lingkungan perguruan tinggi teknik, *Matlab* merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan

penyajian materi matematika, rekayasa dan kelimuan. Di industri, *Matlab* merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi, pengembangan dan analisisnya. Fitur-fitur *Matlab* sudah banyak dikembangkan, dan lebih kita kenal dengan nama *toolbox*. Sangat penting bagi seorang pengguna *Matlab*, *toolbox* mana yang mendukung untuk *learn* dan *apply* teknologi yang sedang dipelajarinya. *Toolbox-toolbox* ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi *Matlab* (*M-files*) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja *Matlab* untuk memecahkan masalah dalam kelas *particular*. Area-area yang sudah bisa dipecahkan dengan *toolbox* saat ini meliputi pengolahan sinyal, sistem kontrol, *neural networks*, *fuzzy logic*, *wavelets*, dan lain-lain”.

“*GUIDE* atau *GUI builder* merupakan sebuah *Graphical User Interface* (*GUI*) yang dibangun dengan obyek grafik seperti tombol (*button*), kotak teks, *slider*, menu dan lain-lain. Aplikasi yang menggunakan *GUI* umumnya lebih mudah dipelajari dan digunakan karena orang yang menjalankannya tidak perlu mengetahui perintah yang ada dan bagaimana kerjanya. Sampai saat ini, jika kita membicarakan pemrograman berorientasi visual, yang ada di benak kita adalah sederetan bahasa pemrograman, seperti *visual basic*, *Delphi*, *visual C++*, *visual Fox Pro*, dan lainnya yang memang didesain secara khusus untuk itu. *Matlab* merintis ke arah pemrograman yang menggunakan *GUI* dimulai dari versi 5, yang terus disempurnakan sampai sekarang.

GUIDE Matlab mempunyai kelebihan tersendiri dibandingkan dengan bahasa pemrogram lainnya, diantaranya :



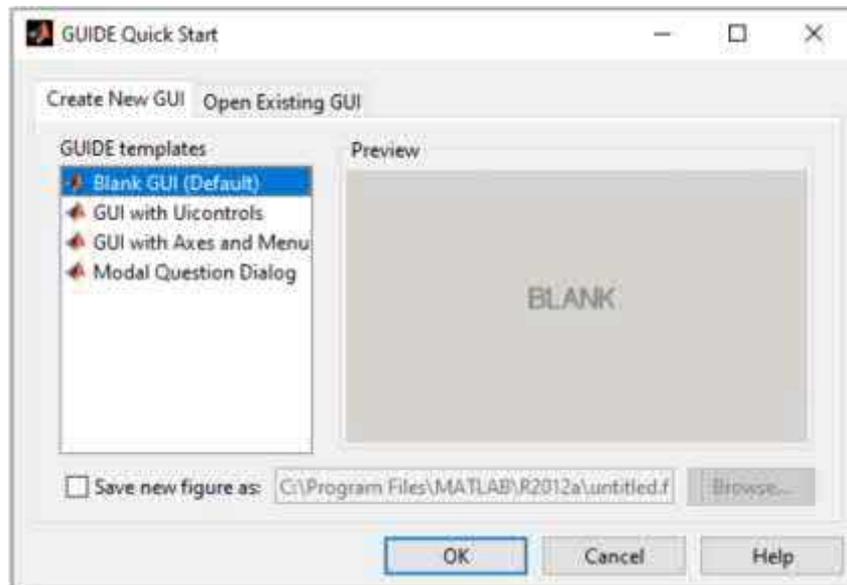
Gambar 2.1 Memulai *GUIDE* (Arie Febry Fardheny, 2010)

1. *GUIDE Matlab* banyak digunakan dan cocok untuk aplikasi-aplikasi berorientasi sains, sehingga banyak peneliti dan mahasiswa menggunakan *GUIDE Matlab* untuk menyelesaikan riset atau tugas akhirnya.
2. *GUIDE Matlab* mempunyai fungsi *built-in* yang siap digunakan dan pemakai tidak perlu repot membuatnya sendiri.
3. Ukuran *file*, baik *FIG-file* maupun *M-file*, yang dihasilkan relatif kecil.
4. Kemampuan grafisnya cukup andal dan tidak kalah dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya.

Memulai *GUIDE Matlab* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Melalui *Command Matlab* dengan mengetikkan : `>> guide`
2. Klik tombol *Start Matlab* dan pilihlah *MATLAB*, lalu pilih *GUIDE (GUI Builder)*

Selanjutnya akan muncul tampilan kotak dialog pilihan *GUIDE Quick Start*.

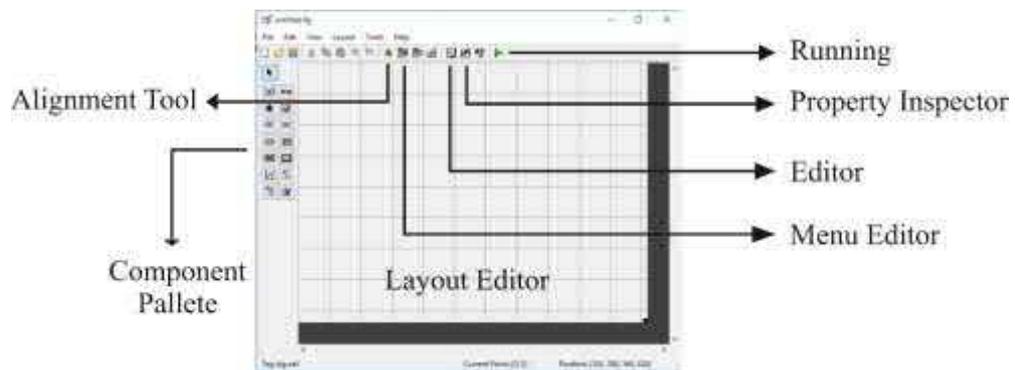


Gambar 2.2 *GUIDE Quick Start* (Arie Febry Fardheny, 2010)

GUIDE Quick Start memiliki dua buah pilihan, yaitu *Create New GUI* dan *Open Existing GUI*. *Create New GUI* digunakan jika kita memang belum pernah membuat aplikasi *GUI Matlab* atau jika kita memang ingin membuat sebuah *figure* baru, sedangkan *Open Existing GUI* digunakan jika kita sudah memiliki *file figure Matlab* atau akan memodifikasi *file figure* yang telah kita simpan.

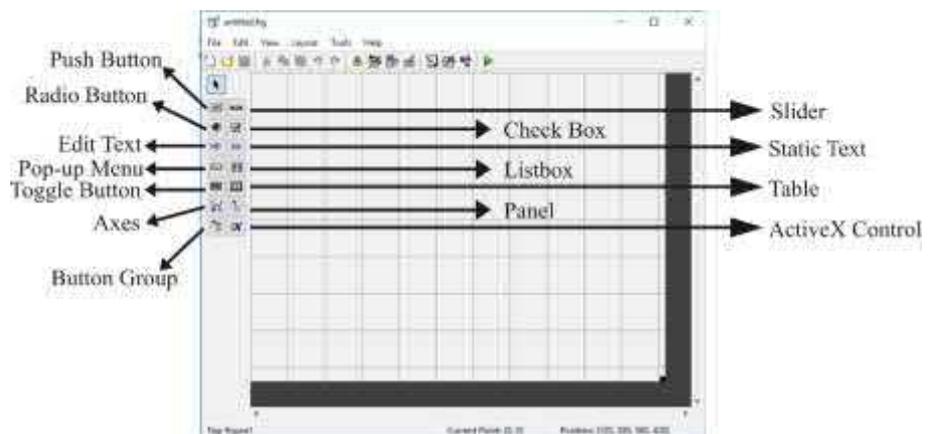
Pada pilihan *Create New GUI* terdapat menu *GUIDE templates* yang memiliki beberapa tipe dasar dari *GUI*, sehingga kita dapat melakukan modifikasi pada *template* agar menjadi *GUI* seperti yang kita harapkan. Sebagai pemula, kita gunakan *Blank GUI (Default)* yang merupakan sebuah *GUI* dengan *figure* kosong dan merupakan kondisi *default* dari *GUIDE* dan dipilih jika kita memang akan membuat sebuah aplikasi

dengan komponen yang *layout*-nya tidak terdapat pada *GUI template* yang lain. Setelah kita memilih *Blank GUI templates*, maka akan muncul tampilan menu utama *GUIDE*.



Gambar 2.3 Tampilan *GUIDE* (Arie Febry Fardheny, 2010)

Komponen palet pada *GUIDE Matlab* terdiri dari beberapa *uicontrol* (*kontrol user interface*), seperti pada bahasa pemrograman visual lainnya, yaitu : *pushbutton*, *togglebutton*, *radiobutton*, *checkboxes*, *edit text*, *static text*, *slider*, *frames*, *listboxes*, *popup menu*, dan *axes*. Kita dapat meletakkan semua kontrol pada *layout editor* dan selanjutnya hanya tinggal mengaturnya melalui *property inspector*.

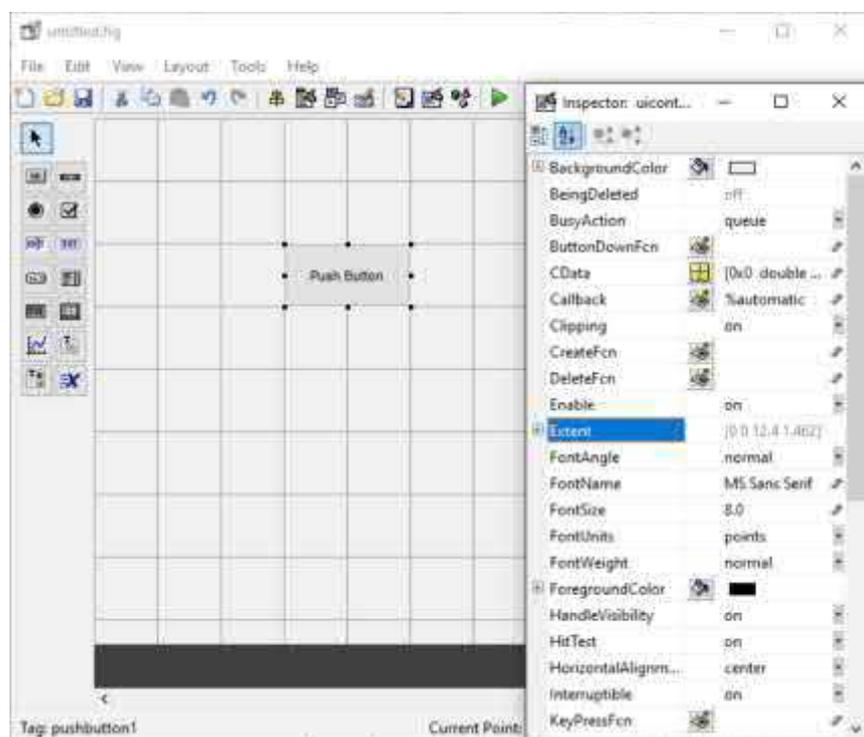


Gambar 2.4 Komponen *GUIDE* (Arie Febry Fardheny, 2010)

Semua kontrol pada *GUIDE* dapat dimunculkan pada *layout/figure* dengan cara mendrag kiri kontrol yang diinginkan ke *figure*. Adapun penjelasan fungsi masing-masing kontrol adalah sebagai berikut :

1. *Pushbutton*

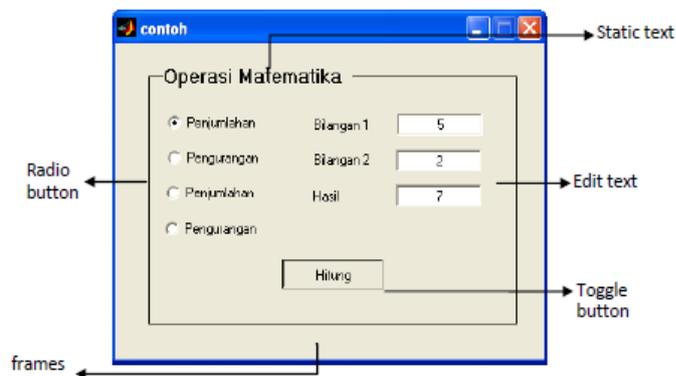
Pushbutton merupakan jenis kontrol berupa tombol tekan yang akan menghasilkan tindakan jika diklik, misalnya tombol *OK*, *Cancel*, Hitung, Hapus, dan sebagainya. Untuk menampilkan tulisan pada *pushbutton* kita dapat mengaturnya melalui *property inspector* dengan mengklik obyek *pushbutton* pada *figure*, lalu mengklik *toolbar property inspector* atau menggunakan klik kanan lalu pilih *property inspector*. Selanjutnya isilah *tab string* dengan label yang diinginkan, misalnya hitung.



Gambar 2.5 *Pushbutton* (Arie Febry Fardheny, 2010)

2. Toggle Button

Toggle button memiliki fungsi yang sama dengan *pushbutton*. Perbedaannya adalah saat *pushbutton* ditekan, maka tombol akan kembali pada posisi semula jika tombol *mouse* dilepas, sedangkan pada *toggle button*, tombol tidak akan kembali ke posisi semula, kecuali kita menekannya kembali. Contoh aplikasi *toggle button* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Aplikasi beberapa *UIControl* (Arie Febry Fardheny, 2010)

3. Radio Button

Radio button digunakan untuk memilih atau menandai satu pilihan dari beberapa pilihan yang ada. Misalnya, sewaktu kita membuat aplikasi operasi Matematika (penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian). Contoh aplikasi *Radio button* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

4. Edit Text dan Static Text

Edit text digunakan untuk memasukkan atau memodifikasi suatu *text* yang diinputkan dari *keyboard*, sedangkan *static text* hanya berguna

untuk menampilkan *text*/tulisan, sehingga kita tidak bisa memodifikasi/mengedit *text* tersebut kecuali melalui *property inspector*. Contoh *edit* dan *static text* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

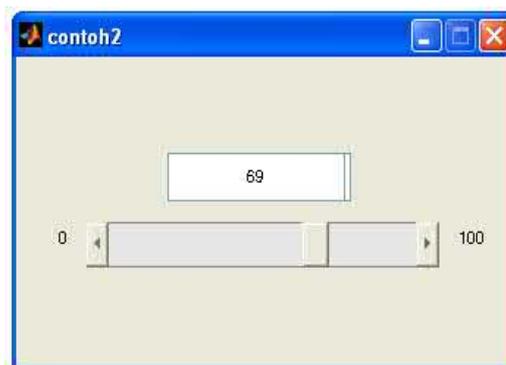
5. *Frames*

Frames merupakan kotak tertutup yang dapat digunakan untuk mengelompokkan kontrol-kontrol yang berhubungan. Tidak seperti kontrol lainnya, *frames* tidak memiliki rutin *callback*.

6. *Checkboxes*

Kontrol *checkboxes* berguna jika kita menyediakan beberapa pilihan mandiri atau tidak bergantung dengan pilihan-pilihan lainnya. Contoh aplikasi penggunaan *checkboxes* adalah ketika kita diminta untuk memilih hobi. Karena hobi bisa lebih dari satu, maka kita dapat mengklik *checkboxes* lebih dari satu kali.

7. *Slider*



Gambar 2.7 Aplikasi *Slider Control* (Arie Febry Fardheny, 2010)

Slider berguna jika kita menginginkan inputan nilai tidak menggunakan *keyboarad*, tetapi hanya dengan cara menggeser *slider* secara *vertical* maupun *horizontal* ke nilai yang kita inginkan.

Dengan menggunakan *slider*, kita lebih fleksibel dalam melakukan pemasukan nilai data karena kita dapat mengatur sendiri nilai *max*, nilai *min*, serta *sliderstep*.

8. *Popup Menu*

Popop menu berguna menampilkan daftar pilihan yang didefinisikan pada *String Property* ketika mengklik tanda panah pada aplikasi dan memiliki fungsi yang sama seperti *radio button*. Ketika tidak dibuka, *popup menu* hanya menampilkan satu *item* yang menjadi pilihan pertama pada *String Property*. *Popup menu* sangat bermanfaat ketika kita ingin memberi sebuah pilihan tanpa jarak, tidak seperti *radio button*.

9. *Axes*

Axes berguna untuk menampilkan sebuah grafik atau gambar (*image*). *Axes* sebenarnya tidak masuk dalam *UIControl*, tetapi *axes* dapat diprogram agar pemakai dapat berinteraksi dengan *axes* dan obyek grafik yang ditampilkan melalui *axes*” (Anonim, 2010).

2.2.3 Potensi Energi Air

Potensi energi alternatif di Indonesia bisa dikatakan sangat melimpah. Contohnya energi angin, Indonesia terletak di daerah tropis sehingga angin yang berhempas mempunyai kecepatan hingga 5m/s (Data Lempaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) (Isdiyarto dkk, 2014). Contoh yang kedua ialah energi air, Indonesia terkenal dengan julukan

negeri maritimnya karena hampir sebagian besar wilayahnya adalah air, hal ini seharusnya juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk dikonversikan ke energi listrik.

Menurut Danny Harri Siahaan (2009:5-8) bahwa, “Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik.

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka *head* adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu :

$$E_p = m g h \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

EP adalah energi potensial air (*Joule*)

m adalah massa air *h* adalah *head* (m)

g adalah percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

Dengan mensubstitusikan P terhadap ($\frac{E}{t}$) dan mensubstitusikan PQ terhadap ($\frac{m}{t}$) maka :

$$P = pQgh \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

P adalah daya (*watt*) yaitu

Q adalah kapasitas aliran ($\frac{m^3}{s}$)

ρ adalah densitas air ($\frac{Kg}{m^3}$)

Selain memanfaatkan air jatuh *hydropower* dapat diperoleh dari aliran air rata. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

E adalah energi kinetik air (*Joule*)

V adalah kecepatan aliran air ($\frac{m}{s}$)

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho Qv^2 \dots\dots\dots (4)$$

Atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas $Q = Av$ maka

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana A adalah luas penampang aliran air (m^2)”.

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

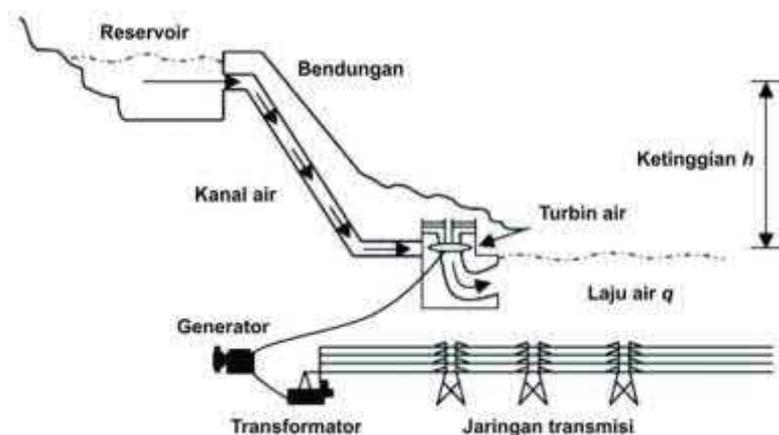
“Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan berupa aliran air dikonversi menjadi energi listrik.

Proses pembangkitan tenaga listrik adalah proses konversi tenaga primer (bahan bakar atau potensi tenaga air) menjadi tenaga mekanik

sebagai penggerak generator listrik dan selanjutnya generator listrik menghasilkan tenaga listrik” (Supari Muslim, 2008).

2.2.5 Prinsip Kerja PLTA

“PLTA dengan kolam tando (*reservoir*), aliran sungai dibendung dengan bendungan besar agar terjadi penimbunan air sehingga terjadi kolam tando. Selanjutnya air dari kolam tando dialirkan ke bangunan air PLTA seperti Gambar 2.8. Dengan adanya penimbunan air terlebih dahulu dalam kolam tando, maka pada musin hujan di mana debit air sungai besarnya melebihi kapasitas penyaluran air bangunan air PLTA, air dapat ditampung dalam kolam tando. Pada musim kemarau di mana debit air sungai lebih kecil dari pada kapasitas penyaluran air bangunan air PLTA, selisih kekurangan air ini dapat di atasi dengan mengambil air dari timbunan air yang ada dalam kolam tando. Inilah keuntungan penggunaan kolam tando pada PLTA. Hal ini tidak dapat dilakukan pada PLTA *run off river*” (Supari Muslim, 2008).



Gambar 2.8 Skematik PLTA (Muhammad Khoirul Aini, 2017)

2.2.6 Daya Listrik PLTA

Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversi menjadi tenaga mekanik untuk memutar turbin, kemudian turbin akan memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Menurut Riny Sulistyowati dan Dedi Dwi Febriantoro (2012) bahwa, “Satuan daya listrik dalam SI adalah *Watt*, yang didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Daya dalam *watt* diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (*Volt*) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (*Ampere*), atau Daya listrik terbagi menjadi tiga jenis, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya nyata”.

1. Perhitungan Luas Penampang (A)

Luas penampang (A) merupakan hasil perkalian antara lebar rata-rata (L) saluran/aliran dengan kedalaman rata-rata (H) saluran/aliran air.

$$A = L \text{ rata-rata} \times H \text{ rata-rata}$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Keterangan :

A = Luas Penampang (m²)

L rata-rata = Lebar rata-rata (meter)

H rata-rata = Kedalaman rata-rata (meter)

2. Perhitungan Kecepatan (v)

Panjang saluran/lintasan pengukuran (P) = meter (panjang lintasan harus tetap). Kecepatan (v) adalah hasil pembagian antara panjang saluran/aliran (P) dibagi dengan waktu rata-rata (T rata-rata)

$$v = P / T \text{ rata-rata}$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Keterangan :

v = Kecepatan (meter/detik)

P = Panjang saluran (meter)

T rata-rata = Waktu rata-rata (detik)

3. Perhitungan Debit Air (Q)

Debit air (Q) merupakan hasil perkalian antara luas penampang (A) saluran/aliran dengan kecepatan (v) aliran air.

$$Q = A \cdot v$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Keterangan :

Q = Debit air (m³/detik)

A = Luas penampang saluran (m²)

v = Kecepatan aliran air (m/detik)

4. Perhitungan Daya Turbin (P_t)

Perhitungan daya turbin bisa dilakukan setelah diketahui nilai debit air.

$$P_t = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Keterangan :

P_t = Daya turbin (watt)

ρ = Densitas air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Q = Debit air (m³/detik)

H = (Head) Tinggi terjun air efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin

0,8 – 0,85 untuk turbin *Pleton*. Turbin *Pleton* merupakan turbin dengan tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300m.

0,8 – 0,9 untuk turbin *francis*. Turbin *Francis* sekarang ini bisa digunakan untuk ketinggian air jatuh 700m.

0,8 – 0,9 untuk turbin *propellerkaplan*. *Head* turbin *propellerkaplan* berada di kisaran 10-70m.

0,7 – 0,8 untuk turbin *crossflow*. Tinggi terjun air untuk turbin *crossflow* kisaran 5-200m.

5. Perhitungan Daya Generator (P_g)

Perhitungan daya generator bisa dilakukan setelah diketahui nilai daya air.

$$P_g \text{ (kW)} = P_t \times \eta_g$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Keterangan :

P_g = Daya generator (kW)

P_t = Daya turbin

η_g = Efisiensi generator (0,8)

Sehingga secara matematis daya real yang dihasilkan dari pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_{real} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g$$

(Sumber : Sintong dan Amir Hamzah 2017:2-4)

Dimana :

P_{real} = daya sebenarnya yang dihasilkan (kW)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

Q = debit air (m^3/s)

H = ketinggian efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin

η_g = Efisiensi generator

2.2.7 Jenis-jenis PLTA

Menurut Lumbantoruan Elitua (2017) bahwa, “Pembangkit listrik tenaga air diperagakan secara besar-besaran dalam berbagai jenis. Hampir setiap proyek air mempunyai sesuatu yang sangat menarik perhatian, yang tidak sebagaimana biasanya didapati diproyek-proyek lain yang sama tipenya. Dengan demikian suatu klasifikasi dapat

dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada aspek istimewa yang ditinjau klasifikasinya. Jadi, pembangkit tenaga air dapat diklasifikasikan atas dasar lokasi, keadaan topografi, dan tidak adanya kolam penampungan, tingkatan pengoperasian tinggi jatuhnya air, keadaan hidrolis pembangkitnya sendiri, dan sebagainya. Sistem pengoperasian pembangkit ditentukan oleh sifat-sifat lainnya, sama seperti ada dan tidak adanya kolam penampungan.

1. Klasifikasi Berdasarkan Tujuan

Secara normal biasanya proyek direncanakan mempunyai tujuan bermacam-macam. Jadi suatu proyek tunggal boleh dipertimbangkan mempunyai fungsi yang berbeda-beda, misalnya untuk suplai air, irigasi, kontrol banjir dan sebagainya, disamping produksi utamanya yaitu tenaga listrik. *Bhakara Project Complex* (India) adalah suatu proyek tenaga listrik tetapi juga berfungsi untuk irigasi. *The Tennessee Valley Scheme*, juga berfungsi sebagai pengontrol banjir di samping memproduksi tenaga listrik. Proyek dengan tujuan yang bermacam-macam ini merupakan ciri-ciri khusus dalam perencanaan proyek tersebut. Misalnya dalam perencanaan pada alur pelayaran sungai, pembangunan sebuah bendungan harus mempertimbangkan agar lalu lintas pelayaran kapal tidak terganggu.

2. Klasifikasi Berdasarkan Keadaan Hidraulis

Suatu dasar klasifikasi pada pembangkit listrik tenaga air adalah memperhatikan pengaruh prinsip dasar hidraulika saat perencanaannya. Ada empat jenis pembangkit listrik tenaga air yang menggunakan prinsip dasar ini, yaitu :

a. Pembangkit listrik tenaga air konvensional.

Pembangkit listrik ini menggunakan kekuatan air secara wajar yang diperoleh dari pengaliran air dan sungai. Dengan demikian dapat disebut sebagai pembangkit air tenaga air tradisional.

b. Pembangkit listrik dengan pemompaan kembali ke air penampungan.

Dengan demikian pembangkit mempergunakan konsep perputaran kembali air yang sama dengan mempergunakan pompa, yang dilakukan saat pembangkit melayani permintaan tenaga listrik yang tidak begitu berat. Setiap pembangkit dibangun diatas tanah yang luas.

c. Pembangkit listrik tenaga air pasang surut.

Hanya sedikit pembangkit jenis ini, seperti La Rance di Prancis yang telah menggunakan tenaga air pasang surut yang luar biasa besarnya.

d. Pembangkit listrik tenaga air yang ditekan.

Pembangkit jenis ini merupakan jenis yang jarang dijumpai diantara jenis-jenis PLTA. Di sini tenaga air yang digunakan

secara umum, dengan mengalihkan air dari sebuah sumber air yang besar, seperti air laut yang masuk ke sebuah penurunan topografis yang alamiah, yang didistribusikan dalam pengoperasian ketinggian tekanan air untuk pembangkitan tenaga listrik. Tingkatan ketinggian air diakibatkan penurunan dikontrol terhadap proses penguapan alam.

3. Klasifikasi Dasar Sistem Pengoperasian

Pembangkit listrik tenaga air dapat juga diklasifikasikan atas dasar permintaan. Pengoperasian itu bekerja dalam hubungan penyediaan tenaga listrik oleh pembangkit sesuai dengan permintaan, atau pengoperasian itu dapat berbentuk suatu kesatuan sistem kisi-kisi yang dapat mempunyai banyak unit, tidak hanya dari tenaga air tetapi juga dari sumber panas atau tenaga nuklir. Pada jaman sekarang, sistem pembangkit listrik dengan kebutuhan yang terpisah-pisah tidaklah bisa. Sudah tentu pembangkit listrik dapat dibangun untuk konsumsi sendiri-sendiri, walaupun di berbagai negara hal tersebut tidak diijinkan.

4. Klasifikasi Dasar Lokasi Kolam Penyimpanan dan Pengatut

Instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat juga diklasifikasikan atas pertimbangan mengenai cuaca dimana instalasi itu dapat dilengkapi dengan sebuah kolam penyimpanan cadangan atau tidak. Kolam itu dilengkapi dengan konstruksi bendungan/tanggul. Kolam penyimpanan tersebut sangat diperlukan ketika terjadinya

pengaliran tidak sama untuk kurun waktu lebih dari satu tahun. Tanpa kolam penyimpanan, pembangkit/instalasi dipergunakan hanya dalam pengaliran yang benar-benar dalam keadaan normal. Dengan demikian jika hanya ada sebuah kolam cadangan yang kecil, maka sebuah kolam pengatur yang akan dibuat dengan hati-hati karena naik turunnya air dari hari ke hari, mungkin sangat diperlukan. Bangunannya terdiri atas sebuah bendungan /tanggul yang merupakan tuntutan berat bagi pengeluaran dan penambahan investasi yang besar dan dibutuhkan oleh proyek tersebut.

5. Klasifikasi Dasar Mengenai Lokasi dan Topografi

Instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat berlokasi di daerah pegunungan atau dataran. Biasanya pembangkit listrik di daerah pegunungan bangunan utamanya berupa bendungan, sedang pembangkit listrik di daerah datar bangunan utamanya berupa tanggul. Di daerah dataran, biasanya sungai lebar, dengan banjir besar di daerah yang datar, dan mungkin membutuhkan pengerjaan pengubahan sungai yang lama. Pembangkit yang lokasinya jauh di pedalaman berarti jauh dari beban utama di pusat, berarti biaya pengiriman muatan listrik relatif lebih mahal daripada proyek-proyek di dekat kota.

6. Klasifikasi Dasar Tentang Kapasitas PLTA

Mengingat bahwa besarnya kekuatan pembangkit-pembangkit listrik di dunia mempunyai kesanggupan dengan kapasitas berkisar 5000

MW, maka klasifikasi atas dasar kapasitas atas dasar PLTA adalah sebagai berikut :

- a. Pembangkit listrik yang terkecil < 5 MW.
- b. Pembangkit listrik kapasitas menengah 5-100 MW.
- c. Pembangkit listrik kapasitas tinggi 101-1000 MW.
- d. Pembangkit listrik kapasitas tertinggi di atas 1000 MW.

7. Klasifikasi Dasar Mengenai Ketinggian Tekanan Air

Sepintas lalu dari klasifikasi di atas dapat dipergunakan untuk memilih suatu kekuatan pembangkit listrik, adapun yang paling menarik dan memudahkan adalah pengklasifikasian atas dasar ketinggian tekanan air, yaitu :

- a. PLTA dengan tekanan air rendah kurang dari 15 m.
- b. PLTA dengan tekanan air menengah 15-70 m.
- c. PLTA dengan tekanan air tinggi 71-250 m.
- d. PLTA dengan tekanan air sangat tinggi diatas 250 m.

8. Klasifikasi Berdasarkan Bangunan/ Konstruksi Utama

Cara lain dari klasifikasi pembangkit listrik atas dasar lokasi pembangunan pembangkit, sebagai berikut :

- a. Pembangkit listrik pada aliran sungai, pemilihan lokasi utama itu harus menjamin bahan pengalirannya tetap normal, atau tepatnya aliran dari sungai tidak mengganggu bahan-bahan material konstruksi pembangkit listrik itu. Dengan demikian, pembangkit listrik walaupun mempunyai sebuah kolam cadangan untuk

- penyimpanan air yang besar, juga mempunyai sebuah saluran pengatur jalannya air dari kolam penyimpanan.
- b. Pembangkit listrik dengan bendungan yang terletak dilembah, maka bendungan itu merupakan lokasi yang utama dalam menciptakan sebuah kolam penampung cadangan air, dan konstruksi bangunan terletak pada sisi tanggul.
 - c. Pembangkit listrik dengan pengalihan terusan, aliran sungai dialihkan melalui sebuah terusan ke konstruksi bangunan yang lokasinya cukup jauh dari kolam penyimpanan. Air dari lokasi bangunan itu dikeringkan kembali ke dalam sungai semula, dengan suatu pengalihan aliran air saat dini hari.
 - d. Pembangkit listrik dengan pengalihan ketinggian, tekanan air dialirkan melalui sebuah sistem terowongan dan terusan yang menuju kolam cadangan, atau aliran arus lain melalui lokasi bangunan. Yang perlu diperhitungkan adalah adanya sistem pemberitahuan yang lengkap, dan sebuah ketinggian tekanan air yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air dengan pengalihan terusan aliran air”.

2.2.8 Kelebihan dan Kekurangan PLTA

Lumbantoruan Elitua (2017) menyatakan bahwa, “Kelebihan dan kekurangan PLTA sebagai berikut :

1. Kelebihan PLTA

- a. Air tidak perlu dibeli karena air disediakan oleh alam sehingga biaya pembangkit relatif murah.
- b. Tidak menimbulkan polusi.
- c. Tidak menimbulkan kebisingan karena jauh dari pemukiman.
- d. Mempunyai *usefull life* yang lama.
- e. Dapat meningkatkan perekonomian masyarakat karena dengan pembangunan PLTA ini akan membutuhkan tenaga kerja.

2. Kekurangan PLTA

- a. Pengoperasian PLTA tergantung pada curah hujan. Kalau curah hujan rendah, maka PLTA tidak dapat beroperasi secara normal.
- b. Jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan biaya transmisi yang besar.
- c. Biaya pembangunan PLTA relatif besar.
- d. Masa pembangunan PLTA cukup lama
- e. Membutuhkan tempat yang besar”.

Karena curah hujan menjadi salah satu penentu agar PLTA bisa beroperasi secara normal, berikut data curah hujan dan hari hujan di Kabupaten Rembang selama 2 tahun terakhir selama tahun 2015 sampai dengan 2016 :

Tabel 2.1 Jumlah curah hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2015

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang per 25 Juli 2017)

Kecamatan <i>Subdistrict</i>	2015												Jumlah <i>Total</i>
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
Sumber	605	302	110	131	-	105	25	-	-	-	234	349	1 861
Bulu	449	250	152	238	44	25	49	32	-	-	126	311	1 676
Gunem	478	142	133	82	54	13	83	29	-	-	142	543	1 699
Sale	389	135	144	106	180	148	74	21	-	15	66	326	1 604
Sarang	402	86	90	135	81	90	114	8	-	27	31	243	1 307
Sedan	389	111	143	84	22	78	36	108	-	17	22	318	1 328
Pamotan	343	72	59	109	68	127	82	-	-	-	10	225	1 095
Sulang	726	302	232	220	79	81	37	15	-	-	165	608	2 465
Kaliori	572	242	-	-	27	52	7	-	-	-	133	290	1 323
Rembang	583	289	69	84	14	58	14	-	-	-	35	360	1 506
Pancur	754	138	184	109	43	121	144	5	-	-	27	181	1 706
Kragan	565	78	75	177	159	201	105	34	-	56	68	325	1 843
Sluke	583	194	74	200	124	273	101	28	-	16	24	306	1 923
Lasem	561	129	152	123	56	157	172	-	-	5	19	223	1 597
Rata-Rata <i>Average</i>	529	176	116	128	68	109	75	20	-	10	79	329	1 638

Tabel 2.2 Jumlah curah hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2016

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang per 25 Juli 2017)

Kecamatan <i>Subdistrict</i>	2016												Jumlah <i>Total</i>
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
Sumber	147	320	114	144	212	187	70	96	60	119	210	141	1 820
Bulu	187	390	215	209	144	96	42	5	101	183	435	214	2 221
Gunem	190	196	159	161	190	169	61	67	48	235	358	105	1 939
Sale	181	303	135	134	167	231	153	63	113	326	206	97	2 109
Sarang	269	491	138	154	63	153	213	110	41	241	352	202	2 427
Sedan	131	315	92	336	194	153	106	10	126	235	247	102	2 047
Pamotan	59	135	162	121	179	96	86	63	70	291	310	105	1 677
Sulang	237	254	235	179	165	198	80	77	105	207	549	262	2 548
Kaliori	180	124	111	180	200	165	46	45	110	199	164	192	1 716
Rembang	102	124	136	190	98	151	22	56	110	147	172	168	1 478
Pancur	175	189	91	150	128	40	94	65	71	193	162	156	1 514
Kragan	56	158	87	194	209	203	110	101	151	212	181	200	1 862
Sluke	391	524	161	208	140	238	325	262	65	356	437	310	3 417
Lasem	178	271	112	172	111	64	61	43	105	202	278	171	1 768
Rata-Rata <i>Average</i>	177	271	139	181	157	153	105	76	91	225	290	173	2038

Tabel 2.3 Jumlah hari hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2015

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang per 25 Juli 2017)

Kecamatan <i>Subdistrict</i>	2015												Jumlah <i>Total</i>
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
Sumber	11	8	7	7	3	-	-	-	-	1	4	7	48
Bulu	15	14	11	18	3	3	-	-	1	1	7	22	95
Gunem	15	9	14	11	3	1	-	-	1	-	4	14	72
Sale	8	7	6	16	6	1	-	-	-	-	5	9	58
Sarang	17	12	7	9	4	-	1	-	-	-	2	15	67
Sedan	13	12	6	11	6	1	-	-	-	-	6	8	63
Pamotan	8	9	4	7	3	-	-	-	-	-	4	13	48
Sulang	16	11	9	13	3	1	-	-	-	-	8	17	78
Kaliori	12	6	5	14	2	-	-	-	-	-	3	11	53
Rembang	15	4	6	8	-	-	-	-	-	-	2	9	44
Pancur	5	5	2	8	3	2	-	-	2	-	2	7	36
Kragan	13	7	6	13	5	4	1	-	-	-	5	5	59
Sluke	16	12	6	9	3	4	-	-	-	-	1	14	65
Lasem	9	-	2	10	2	3	-	-	2	-	2	11	41
Rata-Rata <i>Average</i>	12	8	7	11	3	1	0	0	0	0	4	12	59

Tabel 2.4 Jumlah hari hujan menurut bulan di Kabupaten Rembang tahun 2016

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang per 25 Juli 2017)

Kecamatan <i>Subdistrict</i>	2016												Jumlah <i>Total</i>
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
Sumber	7	14	7	6	6	11	5	4	4	13	17	14	108
Bulu	16	14	12	12	12	9	4	1	8	12	17	13	130
Gunem	14	11	12	7	8	9	3	4	3	8	13	9	101
Sale	15	14	9	10	10	10	8	5	6	10	12	9	118
Sarang	15	20	10	13	6	12	17	10	4	14	19	14	154
Sedan	6	15	6	14	6	7	7	1	6	8	11	10	97
Pamotan	4	8	10	5	6	2	4	3	3	10	12	10	77
Sulang	11	15	8	9	7	9	6	3	4	9	16	12	109
Kaliori	10	9	4	6	9	6	2	2	4	5	7	8	72
Rembang	5	12	6	8	5	7	1	3	2	7	9	7	72
Pancur	7	8	5	6	6	2	8	7	3	8	6	6	72
Kragan	6	11	5	14	6	10	6	6	5	7	11	6	93
Sluke	17	17	10	13	9	13	16	13	6	18	20	16	168
Lasem	10	14	6	6	5	7	6	4	3	9	10	5	85
Rata-Rata <i>Average</i>	10	13	8	9	7	7	7	5	4	10	13	10	104

Tabel 2.5 Jumlah hari hujan dan curah hujan menurut Kecamatan di Kabupaten Rembang tahun 2015 dan 2016

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang per 25 Juli 2017)

Kecamatan <i>Subdistrict</i>	2015		2016	
	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)
	<i>Raindays</i>	<i>Rainfalls</i> (mm)	<i>Raindays</i>	<i>Rainfalls</i> (mm)
Sumber	48	1 861	108	1 820
Bulu	95	1 676	130	2 221
Gunem	72	1 699	101	1 939
Sale	58	1 604	118	2 109
Sarang	67	1 307	154	2 427
Sedan	63	1 328	97	2 047
Pamotan	48	1 095	77	1 677
Sulang	78	2 465	109	2 548
Kaliori	53	1 323	72	1 716
Rembang	44	1 506	72	1 478
Pancur	36	1 706	72	1 514
Kragan	59	1 843	93	1 862
Sluke	65	1 923	168	3 417
Lasem	41	1 597	85	1 768
Rata-Rata <i>Average</i>	59	1 638	104	2 038

2.2.9 Waduk Panohan

Waduk Panohan merupakan sebuah waduk buatan yang dibangun di atas tanah desa Panohan, Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang. Waduk ini memiliki fungsi sebagai pengairan pertanian dan kebutuhan air bersih bagi penduduk sekitar. Waduk Panohan memiliki bentuk yang unik dengan struktur penataan area yang bagus. Waduk ini sekarang juga difungsikan sebagai area wisata alam. Keindahan waduk ini diiringi oleh rentetan bukit dan gunung yang mengapit waduk tersebut. Air di waduk Panohan memiliki curah yang cukup tinggi dengan hulu di sungai Grubugan.

Tabel 2.6 Data Teknis Waduk Panohan

(Sumber : BBWS Pemali Juana)

Jenis	Uraian	2015
		Pemeriksaan Besar Bendungan Panohan
		PT.METTANA
Lokasi	Administrasi	Desa Panohan, Kec.Gunem Kab.Rembang
	Koordinat	6°49'13.64"S 111°25'58.71" BT
Manfaat	Area Irigasi	329 ha
	Air Baku l/dtk
Hidrologi	Sungai	Grubugan
	Luas Daerah Tangkapan Air (DTA)	
	Curah Hujan Tahunan	1700-2100 mm/th
	Inflow Tahunan	37.26 juta m ³ /tahun
	PMP	545 mm
	Debit Banjir Rancangan (Q ₂₅)	135.49 m ³ /det
	Debit Banjir Rancangan (Q ₁₀₀₀)	215.90 m ³ /det

	Debit Banjir Rancangan (Q_{PMF})	449.73 m ³ /det
	Sedimentasi	180.335 m ³ /th (hasil bathimetri)
Waduk	Elevasi Muka Air Rendah (MAR)	+ 62.00 m (0.005 ha)
	Elevasi Muka Air Normal (MAN)	+ 70.00 m (17.75 ha)
	Elevasi Muka Air Banjir (MAB) Q_{1000}	+ 71.78 m (21.75 ha)
	Volume Tampungan Total	0.732 juta m ³
	Volume Tampungan Mati	13 ribu m ³
	Volume Tampungan Efektif	0.718 juta m ³
Bangunan Pengelak	Tipe Pengelak	Konduit / gorong-gorong (@2 buah x 2,50 x 2m)
	Debit Banjir Desain (Q_{25})	46.16 m ³ /det
	Bentuk Pengelak	Persegi Empat
	Panjang Pengelak	67.00 m
	Kapasitan Maksimum	-
Tubuh Bendungan	Tipe	Urugan Random Batu dengan Zona
	Panjang Puncak	150 m
	Lebar Puncak	7.00 m
	Elevasi Puncak	+73.00 m
	Tinggi Bendungan Dari Dasar Sungai	17 m
	Tinggi Bendungan Dari Dasar Galian	19 m
	Kemiringan Lereng Hulu	1 : 2.50
	Kemiringan Lereng Hilir	1 : 2.00
	Volume tubuh bendungan	-
Bangunan Pelimpah	Tipe	Ogee tanpa pintu
	Kapasitas Pelimpah	211.30 m ³ /det ($Q_{out1000}$)
	Elevasi Mercu Pelimpah	+ 70.00 m
	Lebar Mercu	40.00 m

	Debit desain Out Pelimpah	Q100 = 198.48 m ³ /det
		Q1000 = 252.04 m ³ /det
	Tipe Kolam Olak	USBR II
	Saluran Transisi	
	A. Panjang Saluran	25 m
	B. Lebar Saluran	25 m
	Saluran Peluncur	
	A. Panjang Saluran	83 m
	B. Lebar Saluran	25 m
	C. Kemiringan	0.0896
	Kolam Olak	
	A. Tipe Kolam Olak	USBR II
	B. Panjang Kolam olak	20 m
	C. Lebar kolam olak	25 m
Bangunan Pengambilan/ Intake	Letak	Tengah, agak ke kanan
	Tipe	Menara beton bertulang
	Jumlah	1 buah
	Jenis Pintu	Sorong baja dengan ullir
	Dimensi pintu	Lebar 0,80 m x tinggi 1 m
	Kapasitas	0.40 m ³ /det
	Elevasi dasar intake	+ 62.00 m
Instrumentasi	Pisometer Open Pipa (PZ)	23 buah (18 lama, 5 baru)
	Observation Wel (OW)	3 buah
	Pengukuran Debit Rembesan (V nocth)	3 buah
	Patok BM / patok Geser (WP)	3 buah

2.2.10 Pengertian Prediksi (*Forecasting*)

“Prediksi pada dasarnya merupakan suatu dugaan atau perkiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa di masa yang akan datang. Prediksi dapat disebut juga dengan yang ilmiah (*aducated guess*). Setiap pengambilan keputusan yang menyangkut keadaan di masa yang akan datang, maka pasti ada prediksi yang melandasi

pengambilan keputusan tersebut” (Sofyan Assauri, 1984).

2.2.11 Jangka Waktu Prediksi

Menurut Harjono Sugiarto (2000), “jangka waktu tersebut dibagi menjadi :

1. Jangka Pendek (kurang dari 3 bulan)

Manfaatnya antara lain dapat meningkatkan kepuasan pelanggan karena jadwal produksi yang terorganisir dengan baik sehingga pelanggan dapat memperoleh produk dengan cepat dan kualitas produk tersebut pasti lebih baik dibandingkan produk yang telah lama diproduksi namun belum terjual karena manajemen produksi yang kurang baik.

2. Jangka Menengah (3 bulan s/d 2 tahun)

Manfaatnya antara lain manajemen keuangan yang baik karena pengaturan produksi yang terorganisir sehingga persediaan serta penjualan juga terorganisir dan mengakibatkan keseimbangan pengeluaran dan pemasukan, alokasi sumber daya yang lebih baik, tingkat persediaan berkurang karena penjualan dan produksi terjadwal dengan baik, peningkatan laba atau pengurangan kerugian, dan posisi persaingan yang lebih baik.

3. Jangka waktu 2-5 tahun

Manfaatnya antara lain perumusan strategi penjualan, produksi dan persediaan produk yang lebih efektif, pengenalan perubahan dalam

organisasi misalnya yang menyebabkan perubahan dalam tingkat penjualan, produksi dan persediaan, identifikasi bidang-bidang lain yang menjanjikan untuk penanaman modal tetapi harus menyadari bahwa pesaing kemungkinan memiliki akses terhadap ramalan yang juga akurat, proyek-proyek penelitian dan pengembangan yang menjanjikan, peningkatan atau pemeliharaan posisi persaingan.

4. Jangka waktu 5-15 tahun

Manfaatnya antara lain membangun konsensus, dapat memulai studi kelayakan untuk proyek-proyek penelitian dan pengembangan yang menjanjikan dan penetapan arah yang strategis”.

2.2.12 Langkah-langkah Proses Prediksi

Proses prediksi menurut Jay Heizer dan Barry Render (2015), “Terdiri dari tujuh langkah dasar, diantaranya :

1. Menetapkan tujuan prediksi.

Langkah pertama dalam menyusun prediksi adalah penentuan estimasi yang diinginkan. Sebaliknya, tujuan tergantung pada kebutuhan-kebutuhan informasi para manajer. Misalnya, manajer membuat prediksi untuk mengendalikan produksi.

2. Memilih unsur apa yang akan diprediksi.

Setelah tujuan telah ditetapkan, langkah selanjutnya adalah memilih produk apa yang akan diprediksi. Misalnya, kebutuhan daya listrik PLTA.

3. Menentukan horizon waktu prediksi.

Apakah ini merupakan prediksi jangka pendek, menengah atau jangka panjang. Misalnya, seorang manajer menyusun prediksi produksi bulanan, kuartal dan tahunan.

4. Memilih tipe model prediksi.

Pemilihan model prediksi disesuaikan dengan keadaan perusahaan yang bersangkutan. Masing-masing metode akan memberikan hasil prediksi yang berbeda. Metode prediksi yang baik adalah yang memberikan hasil tingkat kesalahan prediksi terkecil.

5. Mengumpulkan data yang diperlukan untuk melakukan prediksi.

Apabila kebijakan umum telah ditetapkan maka data yang dibutuhkan untuk menyusun prediksi penjualan produk dapat diketahui. Dan bila ditinjau dari sumbernya terbagi menjadi dua, yaitu:

- a. Data internal, yaitu data dari dalam perusahaan.
- b. Data eksternal, yaitu data dari luar perusahaan.

6. Membuat prediksi.

7. Memvalidasi dan menetapkan hasil prediksi”.

2.2.13 Metode *Least Square*

“Metode *least square* merupakan metode estimasi parameter sistem yang meminimumkan fungsi kriteria jumlah kuadrat kesalahan prediksi adalah sebagai berikut : $J(t) = \sum_{j=1}^t (\epsilon(j))$

Keterangan : $\varepsilon(t) = y(j) - \bar{y}(J)$

$\varepsilon(t)$: *error* kesalahan output sistem

$y(j)$: *input* sistem

$\bar{y}(J)$: *output* sistem

Formula estimator *least square* diatas dapat dituliskan sebagi berikut :

$$\Theta_t = (\Phi_{t-1}^T \Phi_{t-1})^{-1} \Phi_{t-1}^T Y_t$$

Θ_t : vektor parameter sistem

Φ_{t-1} : vektor informasi output sistem

Y_t : vektor informasi output sistem

Estimator parameter yang telah diturunkan diatas, lebih dikenal sebagai *estimator batch*. Dimana untuk estimasi parameter pada saat-t, Θ_t , Φ_{t-1} diperlukan informasi yang meliputi sinyal pengukuran input-output, dan Y_t hingga pada saat-t pula. Metode kuadrat terkecil, yang lebih dikenal dengan nama *Least – Squares Method*, adalah salah satu metode “pendekatan” yang paling penting dalam dunia keteknikan untuk : (a) regresi ataupun pembentukan persamaan dari titik – titik data diskretnya (dalam pemodelan), dan (b). analisis sesatan pengukuran (dalam validasi model)” Setijo Bismo (2008). Secara umum persamaan garis linier dari metode *least square* adalah : $\hat{Y} = \mathbf{a} + \mathbf{b}x$

Keterangan :

\hat{Y} = Variabel yang dicari *trendnya*.

x = Variabel waktu.

a = konstanta

b = parameter

Untuk mencari konstanta (a) dan parameter (b) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\Sigma y}{n}$$

$$b = \frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2}$$

Menurut Ellen Christina dkk. (2001) mengungkapkan, “Langkah-langkah dalam membentuk model *Least Square* yaitu :

1. Mengidentifikasi mean model dari variabel yang akan diteliti. Tahap ini mempersiapkan data yang akan digunakan (*data time series*) dengan dimensi waktu yang panjang.
2. Melakukan estimasi parameter dari mean model. Estimasi ini bisa menggunakan teknik kuadrat terkecil sederhana maupun dengan metode estimasi tidak *linier*. Pada tahap estimasi ini, teknik perhitungan secara matematis relatif kompleks, sehingga pada umumnya para peneliti menggunakan bantuan *software* yang menyediakan fasilitas perhitungannya seperti *Minitab*, *SPSS* dan *EViews*.
3. Melakukan tes diagnostik. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat pada regresi, maka perlu dilakukan pengujian asumsi klasik sebelumnya. Terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu sebelum menggunakan *Multiple Linear Regression* sebagai alat untuk menganalisis pengaruh variabel - variabel yang diteliti. Beberapa asumsi itu diantaranya :

a. Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk menguji apakah model regresi mempunyai distribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah model regresi yang memiliki distribusi normal atau mendekati normal, sehingga layak dilakukan pengujian secara statistik.

- Jika probabilitas $> 0,05$ maka distribusi dari populasi adalah normal.
- Jika probabilitas $< 0,05$ maka populasi tidak berdistribusi secara normal.

b. Uji Multikolinieritas

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan ada tidaknya hubungan yang *linear* diantara beberapa variabel independen yang dirancang sebagai penduga. Semakin besar korelasi diantara sesama variabel independen, maka tingkat kesalahan dari koefisien regresi semakin besar yang mengakibatkan standar *error*nya semakin besar pula. Jika nilai *sig. correlations* $> \alpha$ (0.05) maka tidak terdapat hubungan yang linear diantara variabel independen yang ada pada model, sehingga kekhawatiran akibat multikolinieritas dapat dihindari. Pada penelitian ini digunakan nilai *variance inflation factors (VIF)* sebagai indikator ada tidaknya multikolinieritas diantara variabel bebas.

c. Uji Heteroskedastisitas

Heteroskedastisitas merupakan indikasi bahwa varian antar residual tidak homogen yang mengakibatkan nilai taksiran yang diperoleh tidak lagi efisien. Untuk menguji apakah varian dari residual homogen atau tidak digunakan uji korelasi *rank Spearman*, yaitu dengan mengkorelasikan variabel bebas terhadap nilai absolut dari residual (*error*). Apabila koefisien korelasi dari variabel bebas ada yang signifikan pada tingkat kekeliruan 5%, mengindikasikan adanya heteroskedastisitas.

d. Linieritas

Nilai prob.F hitung $> 0,05$ dapat disimpulkan bahwa model regresi telah memenuhi asumsi linieritas.

e. Autokorelasi

Nilai prob. F hitung $> 0,05$ dapat disimpulkan tidak terjadi korelasi.

4. Interpretasi model. Dalam penelitian ini yang akan diuji adalah Daya Listrik yang Dihasilkan dari Debit Waduk Panohan Kabupaten Rembang. Prediksi ini sesungguhnya merupakan penjabaran dari persamaan berdasarkan koefisien-koefisien yang didapat, sehingga kita dapat menentukan kondisi di masa yang akan datang”

BAB V

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut :

1. Simulasi aplikasi perancangan daya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) menggunakan *Software Matlab R2012a* yang kemudian diberi nama *Power Simulation Of Hydropower Plant* telah berhasil dibuat sesuai kebutuhan pengguna.
2. Cara kerja dari *Power Simulation Of Hydropower Plant* terhitung cukup mudah, yang perlu dilakukan *user* ialah mempunyai *PC/laptop* yang sudah terinstall *Software Matlab* minimal *R2012a* dan kemudian membukanya, mengetikkan *guide* di *Command Window* dan mencari penyimpanan *figure* simulasi aplikasi dan klik *open*, sesudah terbuka klik *Run Figure* untuk menjalankan. Di bagian *Main Menu* ada 3 *pushbutton*, *File* untuk masuk ke *work window*, *About* untuk melihat informasi singkat mengenai simulasi aplikasi dan pembuatnya, *Help* untuk melihat panduan simulasi aplikasi tersebut. Pada bagian *Work Window* ada parameter yang harus diisi yaitu *rho*, *grafitation*, *head*, *efficiency t*, *efficiency g*, dan menginput data debit air dengan mengklik *icon open* di pojok kiri. Setelah parameter terisi klik *calculate* untuk melihat *output* hasilnya.

3. Perhitungan daya listrik dengan rumus $P_{real} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g$ (Sintong dan Amir Hamzah, 2017:2-4) oleh *Power Simulation Of Hydropower Plant* pada Waduk Panohan didapat daya maksimalnya 9.845,7 kW terjadi pada Bulan April 2017 sedangkan daya minimalnya 3.215,9 kW pada bulan Oktober 2015, dan rata-rata daya yang dihasilkan ialah 8.243,0 kW. Dengan demikian jika dibangun sebuah PLTA di Waduk Panohan, dapat dikategorikan sebagai PLTA jenis menengah karena daya yang dihasilkan 5-100 MW.
4. Pada perhitungan daya listrik yang dihasilkan, digunakan efisiensi turbin sebesar 0.9% agar mendapat daya listrik yang maksimal. Efisiensi ini bisa didapat dengan menggunakan turbin jenis *francis* atau *propellekaplan*. Namun jika melihat data teknis Waduk Panohan dengan *head* 15m, jenis turbin yang dapat digunakan ialah *propellerkaplan* atau *crossflow*.
5. Dengan menggunakan *baseline* data daya listrik yang dihasilkan di Tahun 2014-2017 oleh *Power Simulation Of Hydropower Plant*, prediksi daya listrik yang dihasilkan untuk 5 Tahun kedepan (2018-2022) di Waduk Panohan dengan metode *Least Square* didapat daya minimalnya 8.676,6 kW pada Bulan Januari 2018 kemudian dayanya mengalami kenaikan sampai pada daya maksimalnya 9.720,7 kW di Bulan Desember 2022.
6. Uji komparasi terhadap hasil hitung simulasi aplikasi dengan hitung manual, *Microsoft Excel* dan *Minitab* secara keseluruhan tergolong baik, angka hasil hitungnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan hanya terletak pada sifat pembulatan angka dibelakang koma

(.). Hasil simulasi aplikasi menampilkan 5 *digit* angka hasil hitung dan membulatkan keatas 3 angka paling belakang, hitung manual dan *Microsoft Excel* menampilkan 9 *digit* angka hasil hitung dan tidak membulatkan sama sekali angka dibelakang koma (.), dan perhitungan dengan *Minitab* menampilkan 6 *digit* angka hasil hitung dan membulatkan angka dibelakang komanya.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan, penelitian ini masih memiliki kekurangan dan selanjutnya dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi.

Adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Simulasi aplikasi yang dibuat masih bersifat sederhana, untuk selanjutnya agar dapat dikembangkan lebih interaktif terhadap pengguna, misalnya dengan penambahan pilihan alih Bahasa atau dapat digunakan secara online dengan mengaksesnya di internet.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode prediksi lain seperti jaringan saraf tiruan, sehingga bisa di jadikan perbandingan.
3. Pada penelitian ini tidak sampai meninjau aspek perencanaan sipil ataupun ekonomi pembangunan PLTA Waduk Panohan, maka untuk penelitian selanjutnya bisa ditambahkan aspek tersebut. Selain dari segi daya listrik yang dihasilkan, fungsi dari aspek tersebut juga dibutuhkan sebagai referensi pembangunan PLTA Waduk Panohan.

4. Apabila dibangun sebuah PLTA di Waduk Panohan, harus memperhatikan kestabilan air di waduk, karena kestabilan air akan mempengaruhi daya yang dihasilkan agar tidak fluktuatif dan mempunyai daya yang pasti.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Muhammad Khoiril. 2017. Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan. *Skripsi*. Pendidikan Teknik Elektro. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Al Faruq, Fauzi. 2014. Simulasi Gelombang Berjalan Dengan Menggunakan *Software Matlab* Versi 7.14. *Skripsi*. Fisika. Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin. Makassar.
- Anonim. *Modul GUIDE MATLAB*. Surabaya: ITS.
- Arifah, N.T., Murnomo, A., Suryanto, A. 2017. Implementasi *Neural Network* Pada Matlab Untuk Prakiraan Konsumsi Beban Listrik Kabupaten Ponorogo Jawa Timur. *Jurnal Teknik Elektro*. 9(1): 7-12.
- Assauri, Sofyan. 1984. *Teknik dan Metode Peramalan*. Jakarta: Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Azmi, Muhammad Nur. 2018. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. *Skripsi*. Departemen Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Christina, Elen, dkk. 2001. *Anggaran Perusahaan Suatu Pendekatan Praktis*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Elitua, Lumbantoruan. 2017. *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sigurgura PT. Inalum Power Plant*. <http://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/789/Elitua%20Lumbantoruan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 12 Oktober 2018 (11:05)
- Fardheny, Arie Febry. 2007. *Diktat Kuliah Dasar–Dasar Pemrograman (HSKK116)*. Banjarmasin: Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
- Hasibuan, C. A., Mukid, M. A., Prahutama, A. 2017. Klasifikasi Diagnosa Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) Menggunakan Support Vector Machine (SVM) Berbasis Gui Matlab. *Jurnal Gaussian*. 6(2): 171-180.
- Hasan, M. Iqbal. 2002. *Pokok – Pokok Materi : Teori Pengambilan Keputusan*. Jakarta: Ghalia Indonesia.

- Heizer, Jay dan Render, Barry. 2015. *Manajemen Operasi*. Cetakan ke sebelas. Jakarta: Salemba Empat.
- Isdiyarto., Ananta, H., Purbawanto, S. 2014. Model Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dan Surya Skala Kecil Untuk Daerah Perbukitan. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 12(1): 1-7.
- J. Kakiay, Thomas. 2004. *Pengantar Sistem Simulasi*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Lestari, Tri. 2017. Peramalan Beban Pada PLTA Jelok dengan Menggunakan Metode *Least Square*. *Skripsi*. Pendidikan Teknik Elektro. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Lubis, Abubakar. 2007. Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 8(2): 155-162.
- Luvita, Cynthia Puspa. 2017. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. *Skripsi*. Departemen Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Marsiana, S., Dwijanto, Alamsyah. 2014. Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* Dalam Peramalan Beban Listrik Puncak Distribusi Listrik di Wilayah Pematang. *UNNES Journal of Mathematics*. 3(1): 34-38.
- Maulana, M.I., Muslim, M.A. 2015. Sistem Prediksi Tagihan Listrik Usaha Jasa *Laundry* Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation*. *UNNES Journal Of Mathematics*. 4(1): 59-66.
- Muslim, Supari. 2008. *Teknik Pembangkit Listrik*. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Priambodo, Billy Mosis. 2018. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di Sungai Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara. *Skripsi*. Departemen Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- S. Rosa, A dan M. Shalahuddin. 2014. *Rekayasa Perangkat Lunak*. Cetakan Kedua. Informatika. Bandung.
- Sentia, P.D., Ilyas, I., Haikal, L. 2017. Pendekatan Simulasi Untuk Analisis Antrian Pada Bengkel Servis PT. X. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 15(2): 105-113.
- Setijo, Bismo. 2008. *Pemodelan Teknik Kimia Lanjut*. Jilid 4. Jakarta: Universitas Indonesia.

- Siagian, P. 1987. *Penelitian Operasional : Teori dan Praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Siahaan, Danny Harri. 2009. Pengujian Sudu Rata Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai. *Skripsi*. Departemen Teknik Mesin. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sintong dan Hamzah, Amir. 2017. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Kapasitas 5kW Di Desa Siabu Kabupaten Kampar Riau. *Jurnal Teknik* 4(1): 1-12.
- Sugiarto, Harjono. 2000. *Peramalan Bisnis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Sulistyowati, Rini dan Febriantoro, Dedi Dwi. 2012. Perancangan Prototype Sistem Kontrol Dan Monitoring Pembatas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal IPTEK*. 16(1): 26-32.
- Suryanto, A., Paramita, O., Pribadi, F.S. 2017. Sistem Layanan Monitoring Status Gizi Anak Berbasis Android Terintegrasi Dengan Web. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 15(1): 1-12.
- Ulfa, Nadia. 2018. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di Sungai Sibundong *UPPER* Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *Skripsi*. Departemen Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Yuliani, Anisa., Sari, Dina Puspita., Meliana, Erika., Sinaga, Linda., dan Rahmani, Hudan. 2015. *Algoritma Dan Pemrograman Membuat Program Sederhana Dengan Menggunakan Matlab*. <https://www.coursehero.com/file/14930542/5-ISI/>. 24 September 2018 (11.10).
- Yuningsih. Ai, Masduki, Achmad. 2011. Potensi Energi Arus Laut Untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur, NTT. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 3(1): 13-25.