

Analisa Perhitungan *Specific Water Consumption* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Sistem Minahasa

Peils Yusac Tangkilisan.⁽¹⁾, Ir. Hans Tumaliang MT.⁽²⁾, Sartje Silimang ST. MT.⁽³⁾
 (1)Mahasiswa, (2)Pembimbing 1, (3)Pembimbing 2.

Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115, Email: peilsyusactangkilisan@gmail.com

Abstrack-- Minahasa electrical power system has an installed capacity of 340,65 MW. However, the power capacity is only 288,62 MW. Power generating system consists of two sub-systems, namely thermal sub-systems and hydro sub-systems. Thermal sub-system has a capacity of 235.32 MW that is much larger than the hydro sub-system that is 53.3 MW. Therefore, the cost of plant operations to be very expensive because of fuel consumption of thermal power plant to be very much.

Input-output characteristics of hydroelectric power generation illustrates the relationship between the inputs to the prime movers (turbines) in the form of the amount of water that flowed between the blades of the turbine equation of time with the power output of the generator. The output of the hydro power plant is a power that is sent out is reduced by the net generator output power for its own use such as for pumps, battery charging and other supporting equipment.

By knowing the value of specific water consumption (SWC) and the electric energy generated, the water flow can be determined. This method is very efficient because it has a record of hydropower energy generated each day. Accordingly, if desired length of water discharge data, this can be done for hydropower also has a note of the power / energy generated during it. At one hydropower, SWC value will depend on the value of the head, and the efficiency of equipment used (in particular the efficiency of the turbine and generator efficiency).

In the calculation of Specific Water Consumption (SWC) is influenced by two things, first by the amount of water flow per day, per month and per year, both by the average number of loads perday,permonthandperyear. At Tonsea Lama hydropowerplant we can know the SWC in 2014 through an average yield of water consumption by 25,049,419,742 M³ and the average Energy of 557,552,813 kWh and SWC amounted 4.49 M³/kWh. At Hydro powerplant Tanggari 1 then we can know the SWC in 2014 through an average yield of water consumption amounted to 17,941,035 M³ and the average Energy of 9,133,881kWh and SWC amounted to 1.96M³/kWh. At Hydropowerplant Tanggari 2 we can know the SWC in 2014 through an average yield of 19,705,698M³ water consumption and the average Energy of 7,780,368 kWh and SWC at 2.53 M³/kWh.

Keyword : Energy,input-output characteristics, Specific water consumption, water consumption,.

Abstrak-- Sistem tenaga listrik Minahasa mempunyai kapasitas terpasang 340,65 MW, namun daya mampu hanya 288,62 MW. Sistem pembangkit terbagi dua yaitu sub sistem hidro dan sub sistem termal. Sub sistem termal mempunyai kapasitas daya mampu 235,32 MW yang jauh lebih besar dari sub sistem hidro yaitu 53,3 MW. Oleh karena itu, biaya operasi pembangkit menjadi sangat mahal karena pemakaian bahan bakar dari pembangkit termal sangat banyak.

Karakteristik input-output dari pembangkit tenaga listrik hidro menggambarkan hubungan antara input ke penggerak mula (turbin) berupa jumlah air yang dialirkan diantara sudu-

sudu turbin persamaan waktu dengan output daya dari generator. Output dari pembangkit listrik hidro adalah daya yang dikirim keluar yaitu net output generator dikurangi dengan daya untuk pemakaian sendiri seperti untuk pompa, pengisian baterai dan peralatan penunjang lainnya

Dengan mengetahui nilai specific water consumption (SWC) dan energi listrik yang dihasilkan, maka debit air dapat ditentukan. Metoda ini sangat efisien karena PLTA mempunyai catatan data energi yang dibangkitkan tiap harinya. Dengan demikian, jika diinginkan data debit air yang panjang, hal ini bisa dilakukan selama PLTA juga mempunyai catatan mengenai daya/energi yang dihasilkan selama itu. Pada suatu PLTA, nilai swc akan sangat bergantung pada nilai head, dan efisiensi peralatan yang dipergunakan (khususnya efisiensi turbin dan efisiensi generator).

Dalam perhitungan Specific Water Consumption(SWC) dipengaruhi oleh dua hal, pertama oleh jumlah debit air perhari, perbulan dan pertahun, kedua oleh jumlah beban rata-rata perhari, perbulan dan pertahun Pada PLTA Tonsea Lama kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 25049419742 M³ dan Energi rata-rata sebesar 557.552.813 kWh dan SWC sebesar 4.49 M³/kWh. Pada PLTA Tanggari 1 maka kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 17,941,035 M³ dan Energi rata-rata sebesar 9,133,881kWh dan SWC sebesar 1.96 M³/kWh. Pada PLTA Tanggari 2 kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 19,705,698M³ dan Energi rata-rata sebesar 7,780,368 kWh dan SWC sebesar 2.53 M³/kWh.

Kata Kunci : Energy,input-output characteristics,Pemakaianair, Specific water consumption.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial dari dam atau air terjun menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin air dan dari energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan generator, PLTA dapat beroperasi bila mempunyai Daerah Aliran Sungai (DAS) yang potensial sebagai sumber air untuk memenuhi kebutuhan dalam pengoperasian PLTA tersebut.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), perhitungan keadaan air yang masuk pada waduk / dam tempat penampungan air, beserta besar air yang tersedia dalam waduk / dam dan perhitungan besar air yang akan dialirkan melalui pintu saluran air untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak sumber listrik dengan demikian kontrol terhadap air yang masuk maupun yang didistribusikan ke pintu saluran air untuk menggerakkan turbin harus dilakukan dengan baik, sehingga dalam operasi PLTA dapat dijadikan sebagai dasar tindakan pengaturan penggunaan air maupun pengamanan

seluruh sistem, sehingga PLTA tersebut dapat beroperasi sepanjang tahun walaupun pada musim kemarau panjang.

Ditinjau dari caranya membendung air, PLTA dapat dibagi menjadi dua kategori PLTA *run off river* dan PLTA dengan kolam tando (*reservoir*). Pada PLTA *run off river*, air sungai dialihkan dengan menggunakan dam yang dibangun memotong aliran sungai. Air sungai kemudian kembali disalurkan ke bangunan air PLTA kalau pada PLTA kolam tando (*reservoir*) aliran sungai dibendung dengan bendungan besar agar terjadi penimbunan air sehingga terjadi kolam tando.

Dengan adanya penimbunan air terlebih dahulu dalam kolam tando, maka pada musim hujan dimana debit air sungai besarnya melebihi kapasitas penyaluran air bangunan pada PLTA maka, air dapat ditampung dalam kolam tando. Pada musim kemarau dimana debit air sungai lebih kecil daripada kapasitas penyaluran air bangunan pada PLTA, selisih kekurangan air dapat diatasi dengan mengambil air dari timbunan yang ada dalam kolam tando. Inilah keuntungan penggunaan kolam tando pada PLTA. Hal ini tidak dapat dilakukan pada PLTA *run off river* seperti yang ada di sistem minahasa.

Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) kondisi air yang digunakan atau dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu maka semakin besar energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dan harus memperhatikan besarnya debit air. Debit air dalam pembangkit listrik tenaga air sangat dipengaruhi oleh cuaca dan musim di wilayah berdirinya suatu PLTA, debit air sangat mempengaruhi operasional dalam pembangkit dimana pembangkit akan mengatur debit air yang masuk dalam PLTA sesuai kebutuhan beban yang dibutuhkan. SWC (*specific water consumption*) sangat ditentukan oleh jumlah debit air perhari, perbulan sampai pertahun dibagi dengan jumlah Energi harian, perbulan sampai pertahun pada masing-masing unit dalam pembangkit sehingga dapat dihitung SWC pada setiap Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Oleh sebab itu, saya mengajukan judul tugas akhir "*Analisa Perhitungan Specific Water Consumption Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Sistem Minahasa*".

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Tenaga Listrik

Setiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik sangat tergantung pada sumber energi primer setiap pembangkit. Perbedaan energi primer dan tingkat efisiensi menyebabkan biaya produksi masing-masing pembangkit menjadi berbeda. Secara garis besar ada 3 (tiga) tipe pembangkit berdasarkan waktu beroperasi, yaitu :

Pembangkit tipe base

Pembangkit tipe *base* adalah pembangkit yang dioperasikan untuk memikul beban dasar konstan. Biasanya pembangkit tipe *base* memiliki waktu mula yang lama, contohnya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pembangkit lain seperti PLTA dan PLTP termasuk dalam pembangkit tipe *base*.

Pembangkit tipe intermediate

Pembangkit tipe *intermediate* biasanya digunakan sewaktu-waktu untuk menutupi lubang-lubang beban dasar pada kurva beban. Pembangkit ini memiliki *start* awal yang cepat. PLTD biasa digolongkan dalam tipe pembangkit *intermediate*.

Pembangkit tipe peak

Pembangkit tipe *peak* hanya dioperasikan pada beban puncak. Pada umumnya pembangkit ini memiliki keandalan yang cukup tinggi, namun tidak terlalu ekonomis untuk dioperasikan secara terus-menerus karena biaya bahan bakar yang relatif mahal. Pembangkit yang termasuk dalam tipe *peak* adalah PLTD, PLTG.

B. Pembangkit Hidro

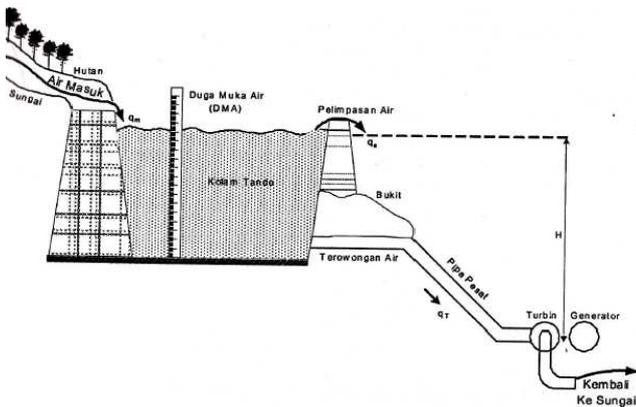
Pembangkit hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi, maka semakin besar energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Secara teknis, Pembangkit hidro ini memiliki tiga komponen utama, yaitu air, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju power house. Di power house air tersebut akan menekan turbin sehingga turbin akan menerima energi air dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa perputaran poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator. Dari generator akan dihasilkan energi listrik.

Pembangkit hidro atau dalam skala besar disebut pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin. Kemudian turbin memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik.

C. Prinsip PLTA Dan Konversi Energi Listrik

Pada prinsipnya PLTA mengolah energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan adanya head, lalu energi kinetik ini berubah menjadi energi mekanis dengan adanya aliran air yang menggerakkan turbin, lalu energi mekanis ini berubah menjadi energi listrik melalui perputaran rotor pada generator. Jumlah energi listrik yang bisa dibangkitkan dengan sumber daya air tergantung pada dua hal, yaitu jarak tinggi air (head) dan berapa besar jumlah air yang mengalir (debit). Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, harus melalui beberapa tahapan perubahan energi, yaitu



Gambar 1. Proses Konversi Energi Dalam PLTA



Gambar 2. Turbin Kaplan



Gambar 3. Turbin Francis



Gambar 4. Turbin Pelton

Daya yang dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin adalah :

$$P_i = 9,8 \cdot Q \cdot h \cdot \eta_T \cdot \eta_G \quad (1)$$

Keterangan :

P_i = daya (kW)

Q = debit air rata-rata ($m^3/detik$)

H = tinggi terjun air efektif (m)

η_T = efisiensi turbin

η_G = efisiensi generator

Energi Potensial

Energi potensial yaitu energi yang terjadi akibat adanya beda potensial, yaitu akibat adanya perbedaan ketinggian.

Energi Kinetis

Energi kinetis yaitu energi yang dihasilkan akibat adanya aliran air sehingga timbul air dengan kecepatan tertentu.

Energi Mekanis

Energi mekanis yaitu energi yang timbul akibat adanya pergerakan turbin. Besarnya energi mekanis tergantung dari besarnya energi potensial dan energi kinetis. Besarnya energi mekanis.

Energi Listrik

Ketika turbin berputar maka rotor juga berputar sehingga menghasilkan energi listrik.

A. Komponen Dasar PLTA

Komponen-komponen dasar PLTA berupa dam, turbin, generator dan transmisi. Dam berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu dam juga berfungsi untuk pengendalian banjir.

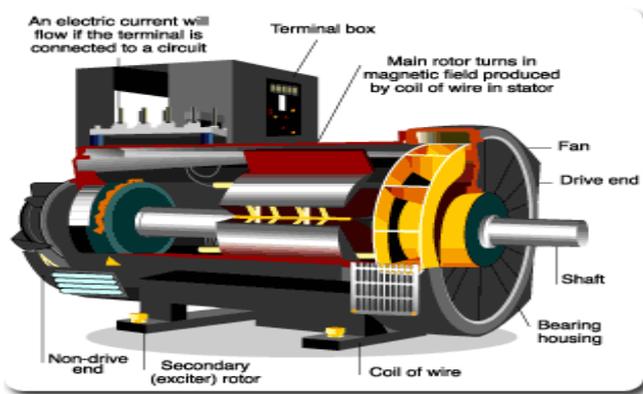
Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.

Gambar 1. menggambarkan secara skematis bagaimana potensi tenaga air, yaitu sejumlah air yang terletak pada ketinggian tertentu diubah menjadi tenaga mekanik dalam turbin air.

Pada gambar 2 Turbin Kaplan digunakan untuk tinggi terjun yang rendah, yaitu di bawah 20 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik roda air turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Roda air turbin Kaplan menyerupai baling-baling dari kipas angin.

Pada gambar 3 Turbin Francis paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang, yaitu antara 20-400 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin



Gambar 5. Generator



Gambar 6. Travo

dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin Francis jugadisebut sebagai turbin reaksi.

Pada gambar 4 Turbin Pelton adalah turbin untuk tinggi terjun yang tinggi, yaitu di atas 300 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses impuls sehingga turbin Pelton juga disebut sebagai turbin impuls.

Generator

Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC.

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanis. Generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri dari 18 buah besi yang dililit oleh kawat dan dipasang secara melingkar sehingga membentuk 9 pasang kutub utara dan selatan.

Jika kutub ini dialiri arus eksitasi dari *Automatic Voltage Regulator (AVR)*, maka akan timbul magnet. Rotor terletak satu poros dengan turbin, sehingga jika turbin berputar maka rotor juga ikut berputar. Magnet yang berputar memproduksi tegangan di kawat setiap kali sebuah kutub melewati “coil” yang terletak di stator. Lalu tegangan inilah yang kemudian menjadi listrik yang ditunjukkan pada gambar 5.

TABEL I. KLASIFIKASI PLTA SESUAI DAYA YANG DIHASILKAN

NO	JENIS	DAYA/KAPASITAS
1	PLTA	> 5 MW (5.000 kW).
2	PLTM	100 kW < PLTM < 5.000 kW
3	PLTMH	< 100 kW



Gambar 7. Bendungan

Pada gambar 6 Travo digunakan untuk menaikkan tegangan arus bolak balik (AC) agar listrik tidak banyak terbuang saat dialirkan melalui transmisi. Travo yang digunakan adalah *travo step up*. Transmisi berguna untuk mengalirkan listrik dari PLTA ke rumah-rumah atau industri. Sebelum listrik kita pakai tegangannya di turunkan lagi dengan *travo step down*. Pembangkit listrik tenaga air konvensional bekerja dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang. Saat ini ada teknologi baru yang dikenal dengan *pumped-storage plant*.

Pada gambar 7 Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pusat Listrik Tenaga Air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan

B. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro

Pada dasarnya suatu pembangkit listrik tenaga hidro berfungsi untuk mengubah potensi tenaga air yang berupa aliran air (sungai) yang mempunyai debit dan tinggi jatuh (head) untuk menghasilkan energi listrik.

Secara umum Pusat Listrik Tenaga Air terdiri dari :

- 1) Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro,
- 2) Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, dan
- 3) Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Pembangkit listrik tenaga hidro dapat dikategorikan dan diklasifikasikan sesuai besar daya yang dihasilkannya, sebagaimana diperlihatkan pada tabel berikut:

C. *Specific Water Consumption(SWC)*

Dengan mengetahui nilai *specific water consumption* (SWC) dan energi listrik yang dihasilkan, maka debit air dapat ditentukan. Metoda ini sangat efisien karena PLTA mempunyai catatan data energi yang dibangkitkan tiap harinya (biasanya per jam).

Dengan demikian, jika diinginkan data debit air yang panjang, hal ini bisa dilakukan selama PLTA juga mempunyai catatan mengenai daya/energi yang dihasilkan selama itu. Pada suatu PLTA, nilai *swc* akan sangat bergantung pada nilai *head*, dan efisiensi peralatan yang dipergunakan (khususnya efisiensi turbin dan efisiensi generator).

Dalam perhitungan *Specific Water Consumption(SWC)* dipengaruhi oleh dua hal, pertama oleh jumlah debit air perhari, perbulan dan pertahun, kedua oleh jumlah beban rata-rata perhari, perbulan dan pertahun

$$SWC = \frac{Q}{W} \quad (2)$$

Keterangan :

Q = Jumlah debit air (m^3)

W = Energi (kWh)

Dalam perhitungan ini kita dapat mengetahui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) mana yang lebih efisien dalam pengoperasian.

III. METODE PENELITIAN

A. *Prosedur Penelitian*

Dalam penyusunan tugas akhir ini, yang pertama-tama penulis melakukan beberapa langkah-langkah untuk pengambilan dan pengolahan data yang akan menjadi landasan penelitian. Langkah-langkah tersebut menjadi beberapa tahapan, antara lain :

Prosedur penelitian ini terdiri atas beberapa langkah-langkah, yaitu:

Tahap Persiapan

Melakukan studi literatur dan mempelajari materi-materi mengenai analisa perhitungan *specific water consumption* pada pembangkit hidro

Menentukan parameter apa yang digunakan untuk membuat analisa perhitungan konsumsi air pada pembangkit hidro di sistem Minahasa dan data apa saja yang diperlukan.

Tahap Pengambilan Data

Membuat surat izin pengambilan data di kantor PT. PLN (Persero) Sektor Minahasa dan PT. PLN AP2B Sistem Minahasa

Memasukkan surat izin pada tanggal 30 Juni 2015 di kantor PT. PLN (Persero) Sektor Minahasa dan pada tanggal 20 Maret 2013PT. PLN (Persero) AP2B Sistem Minahasa

Pengambilan data pada tiap *unit* pembangkit di PLTA Tonsea Lama,PLTA tanggari 1 dan PLTA tanggari 2 dimulai pada tanggal 1 Juli 2015, setelah mendapat izin (surat tembusan) dari pihak PT. PLN (Persero) Sektor Minahasa.

Pengambilan data di Kantor PT. PLN (Persero) AP2B Sistem Minahasa dilakukan pada tanggal 20 Maret 2013.

Tahap Pengolahan Data

Mengambil data debit,daya,tinggi air pada pembangkit hidro di sistem minahasa.

Menentukan persamaan karakteristik input-output pembangkit hidro dari data operasi harian (debit terhadap besarnya daya yang dibangkitkan).

Identifikasi Masalah

Pada saat melakukan penelitian langsung di lapangan, hal terpenting yang pertama dilakukan ialah mengidentifikasi masalah-masalah yang terjadi di 3 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tonsea Lama,Tanggari 1 dan Tanggari 2. Setelah penulis mengetahui masalah yang ada barulah penulis mengambil data-data yang berkaitan dengan masalah tersebut.

B. *Tempat Dan Waktu Penelitian*

Penelitian ini dilakukan pada sistem pembangkit hidro Minahasa, dengan mengambil data sekunder pada tiap unit pembangkit hidro yang terinterkoneksi dalam sistem, yaitu PLTA Tonsea Lama,PLTA Tanggari 1 dan PLTA tanggari 2. Data (diambil mulai pada tanggal 26 Februari 2013 dan 1 juli – 31 juli 2015) di Kabupaten Minahasa dan Kabupaten Minahasa Utara.

C. *Jenis Data*

Data-data dalam penelitian ini di kelompokkan menjadi dua jenis, yaitu: Data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan survei langsung ke lokasi penelitian. Data - data tersebut adalah data perusahaan PLTA Tonsea Lama,Tanggari 1 dan Tanggari 2 pada tahun operasi 2013 sampai tahun 2015. Dan data Debit air,daya mampu dan daya terpasang dan DMA di PLTA Tonsea Lama,Tanggari 1 dan Tanggari 2.

Data sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh berdasarkan data-data yang sudah ada di lapangan. Data Sekunder tersebut adalah data yang diperoleh melalui literatur dan jurnal - jurnal yang berkaitan dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya, spesifikasi dari komponen PLTA.

D. *Teknik Analisis Data*

Dalam mengolah data-data yang di ambil saat melakukan penelitian, penulis memakai rumus dan persamaan yang akan dipakai dalam menganalisa data yang berkaitan dengan masalah-masalah di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tonsea Lama,Tanggari 1 dan Tanggari 2.

Perhitungan *SWC(Specific Water Consumption)* Pada PLTA Tonsea Lama,PLTA Tanggari 1 dan Tanggari 2

Perhitungan *SWC* diperoleh berdasarkan formulasi yang dinyatakan dalam

Persamaan sebagai berikut :

$$SWC = \frac{Q}{W} \quad (3)$$

Keterangan :

Q = Jumlah debit air (m^3)

W = Energi (kWh)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembangkit Hidro Di Sistem Minahasa

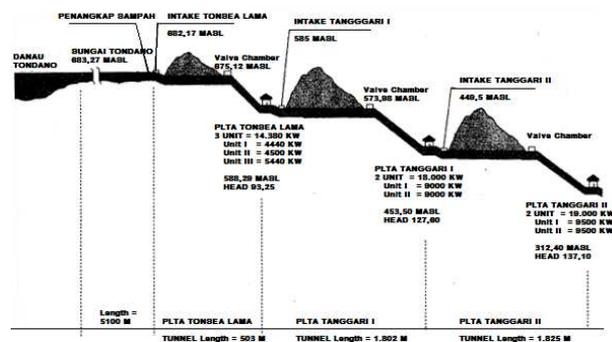
Sistem pembangkit hidro merupakan pembangkit yang biaya pengoperasiannya relatif lebih murah dibandingkan sistem pembangkit yang lain. Sumber energi primer yaitu air tidak perlu dibeli, hanya dikenakan biaya pajak sebesar 5 Rupiah/kWh untuk sistem Minahasa. Pembangkit hidro (PLTA) sistem Minahasa terhubung secara kaskade dengan memanfaatkan aliran sungai Tondano seperti yang digambarkan secara skematis pada gambar dibawah.

B. Profil PLTA Tonsea Lama

Pembangkit Listrik Tenaga Air Tonsealama tepatnya terletak di Desa Tonsealama Kecamatan Tondano Utara, Kab. Minahasa. Kurang lebih 35 Km dari Ibukota propinsi Sulawesi Utara dan 5 Km dari Ibukota Kabupaten Minahasa. Pembangkit ini menggunakan potensi air yang bersumber dari Danau Tondano yang memiliki luas 41 Km² dan luas Daerah Penangkap Hujan 200 Km².

Air tersebut mengalir melalui Sungai Tondano dengan panjang 5 Km kemudian dibendung untuk mengalirkan air ke Rumah Pembangkit Daya (Power house) melalui terowongan dengan panjang 528 meter yang selanjutnya disalurkan melalui 2 buah Pipa Pesat (Penstock) masing - masing berdiameter 1.5 dan 2 m, dimana Pipa Pesat yang berdiameter 1.5 m untuk mesin Unit I dan yang berdiameter 2 m untuk dua Unit mesin yaitu mesin Unit II dan Unit III.

Pembangunan PLTA Tonsealama Unit I dirintis oleh Bangsa Belanda semasa masih berkuasa di Indonesia, namun setelah bangsa Jepang merebut kekuasaan Belanda di Indonesia Proyek pembangunan PLTA Tonsealama diteruskan oleh bangsa Jepang sekitar tahun 1942 sampai dengan tahun 1945 yang antara lain membuat Bendungan, Terowongan, pemasangan Pipa Pesat dan mendatangkan Turbin dan Generator. Turbin mesin Unit I ini performance Test pabrik pada tahun 1917 dan pemasangannya mulai tahun 1918 di PLTA Katsuragawa Jepang, sedangkan Generatornya ex bongkaran dari Philipina.



Gambar 8. PLTA Kaskade (Tonsea Lama - Tanggari I - Tanggari II)

C. Profil PLTA Tanggari 1 Dan PLTA Tanggari 2

Proyek pembangunan Unit pembangkit PLTA Tanggari 1 (selanjutnya disebut PLTA Tanggari 1) dimulai sejak tahun 1986 dan beroperasi komersial sejak bulan oktober 1987 hingga tahun 2009 produksi Kwh yang dibangkitkan oleh unit PLTA tanggari 1 mencapai 1.541.374.860 kwh dengan operasi mencapai 135.125.00 jam kerja untuk mesin unit 1 dan 134.188.00 jam untuk mesin unit 2. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTA tanggari 1 disalurkan ke system interkoneksi 70 KV Minahasa. Manado. Bitung dan sistim interkoneksi 150 KV untuk kotamobagu. PT. PLN (persero) sektor minahasa dan unit PLTA tanggari 1 mempunyai komitmen untuk meyakinkan pelanggan (AP2B Minahasa) dan mitra kerja bahwa dalam melaksanakan proses bisnisnya sesuai dengan standar internasional manajemen mutu ISO 9001 : 2008.

Dalam melaksanakan proses bisnisnya, PLTA tanggari 1 menggunakan air buangan turbine unit I,II,III PLTA Tonsea lama sebagai sumber utama penggerak mula untuk memutar turbine yang seporos dengan Generator, dukungan penyedia jasa sebagai pemasok tenaga jasa operator melalui kantor PLN SMI, sekaligus mendapat pembinaan, pengarahan, bimbingan dan pemantuan dari kantor SMI.

PLTA Tanggari I dengan berbagai kualifikasi yang bertugas melaksanakan pengoperasian, pemeliharaan pembangkit dan administrasi / kepegawaian untuk menghasilkan produksi tenaga listrik secara kontinyu.

Dalam melaksanakan proses bisnisnya, PLTA tanggari 1 menggunakan air buangan turbine unit I,II,III PLTA Tonsea lama sebagai sumber utama penggerak mula untuk memutar turbine yang seporos dengan Generator, dukungan penyedia jasa sebagai pemasok tenaga jasa operator melalui kantor PLN SMI, sekaligus mendapat pembinaan, pengarahan, bimbingan dan pemantuan dari kantor SMI.

D. Data Teknis

Data teknis diperoleh di kantor PLN AP2B Sistem Minahasa, kantor PLN Sektor Minahasa, dan di tiap unit pembangkit hidro PLTA Tonsea Lama, Tanggari 1 dan Tanggari 2.

TABEL II. DATA CONSTRAINTS PLTA

Data Operasi dan Fisik	PLTA		
	T. Lama	Tanggari I	Tanggari II
P_{maks} (kW)	11.500	16.300	18.500
P_{min} (kW)	3.100	3.800	5.400
Q_{max} (m ³ /det)	13,747	14,7	16,3
Q_{min} (m ³ /det)	3,744	6,825	11,7
Water Level Maksimum (MASL)	683,66	589,6	459,8
Water Level Minimum (MASL)	682,66	588,75	458,8
Tinggi Tenjun Air (m)	93,25	127,6	137,1
Panjang Terowongan Air (m)	528	1.802	1825

TABEL III. SPESIFIKASI MESIN PLTA SISTEM MINAHASA

Unit	Merek / Tipe / No.Seri	Tahun Operasi	DAYA	
			Terpasang	Mampu
			(kW)	(kW)
PLTA Tonsea Lama				
1	Escher Wyss /Francis Vertical/6007	1960	4440	3500
2	Stork Holland /Francis Vertical/PV 36285	1970	4500	4000
3	Andritz Escher Wyss /Francis Vertical/1216	1981	5440	4000
PLTA Tanggari I				
1	Neyrpic/Francis Vertical/412218	1987	9000	8500
2	Neyrpic/Francis Vertical/412219	1987	9000	7800
PLTA Tanggari II				
1	Bouvier Hydro/Francis Vertical	1998	9500	9500
2	Bouvier Hydro/Francis Vertical	1998	9500	9000

E. Perhitungan SWC pada PLTA Tonsea Lama

Perhitungan SWC di PLTA Tonsea Lama pada bulan januari maka kita dapat menghitung *specific water consumption*(SWC) dengan menggunakan rumus:

$$SWC = \frac{Q}{W}$$

Melalui hasil data bulan januari pemakaian air dan Energi yang dikeluarkan masing-masing unit pembangkit maka didapat hasil pemakaian air selama bulan januari sebesar 27.229.589.900 M³ dan energi yang dikeluarkan adalah 605.619.737 Kwh.

$$SWC \text{ pada bulan januari adalah } \frac{27.229.589.900}{605.619.737}$$

$$= 4.49 \text{ M}^3/\text{kWh}$$

SWC yang didapat pada bulan januari sebesar 4.49 M³/kWh sehingga kita dapat mengetahui dengan pasti pemakaian air sebesar 27.229.589.900 M³ dan energi yang dikeluarkan sebesar 605.619.737 kWh .

Melalui hasil perhitungan diatas maka mendapatkan hasil SWC pada PLTA Tonsea Lama selama tahun 2014.

TABEL IV. SWC PADA PLTA TONSEA LAMA

BULAN	PEMAKAIAN AIR(M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
JANUARI	27.229.589.900	605.619.737	4.49
FEBRUARI	26.182.432.800	584.321.282	4.48
MARET	25.365.432.300	563.453.521	4.50
APRIL	25.062.364.200	556.325.342	4.50
MEI	24.534.534.800	543.497.653	4.51
JUNI	23.876.543.600	536.546.545	4.45
JULI	22.987.645.500	524.535.344	4.38
AGUSTUS	22.674.534.500	521.232.345	4.35
SEPTEMBER	23.675.534.300	534.325.453	4.43
OKTOBER	24.675.989.700	545.674.534	4.52
NOVEMBER	25.987.667.500	565.645.667	4.59
DESEMBER	28.345.567.800	609.456.342	4.65
Rata-rata	25.049.819.742	557.552.813	4.49

TABEL V. SWC SELAMA MUSIM PANAS

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC(M ³ /kWh)
APRIL	25.062.364.200	556.325.342	4.50
MEI	24.534.534.800	543.497.653	4.51
JUNI	23.876.543.600	536.546.545	4.45
JULI	22.987.645.500	524.535.344	4.38
AGUSTUS	22.674.534.500	521.232.345	4.35
SEPTEMBER	23.675.534.300	534.325.453	4.43
OKTOBER	24.675.989.700	545.674.534	4.52

Dalam perhitungan pada table IV maka kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 25049419742 M³ dan Energi rata-rata sebesar 557.552.813 kWh dan SWC sebesar 4.49 M³/kWh.

F. Pengaruh Musim panas Pada PLTA Tonsea Lama Musim Panas Pada PLTA Tonsea Lama diambil Pada Bulan April-Oktober

Dari tabel V kita bisa melihat Pemakaian air semakin menurun dari bulan april sampai bulan oktober dikarenakan oleh faktor musim panas sehingga daya output yang dihasilkan oleh pembangkit PLTA Tonsea Lama semakin Menurun. Dari data yang diatas didapat pemakaian air terendah pada bulan agustus

TABEL VI. SWC SELAMA MUSIM HUJAN

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC(M ³ /kWh)
NOVEMBER	25.987.667.500	565.645.667	4.59
DESEMBER	28.345.567.800	609.456.342	4.65
JANUARI	27.229.589.900	605.619.737	4.49
FEBRUARI	26.182.432.800	584.321.282	4.48
MARET	25.365.432.300	563.453.521	4.50

TABEL VII. SWC PADA PLTA TANGGARI 1

BULAN	PEMAKAIAN AIR(M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
JANUARI	267,590	8,731,200	3.065
FEBRUARI	247,012	8,223,100	3.004
MARET	25,401,885	7,912,823	3.21
APRIL	20,479,946	6,545,880	3.13
MEI	20,479,946	6,545,880	3.13
JUNI	37,816,409	1,193,098,500	3.16
JULI	32,497,745	1,078,078,600	3.014
AGUSTUS	22,355,073	7,546,028	2.97
SEPTEMBER	16,498,935	5,593,995	2.95
OKTOBER	16,498,935	5,593,995	2.95
NOVEMBER	14,364,852	4,543,110	3.16
DESEMBER	25,873,154	8,169,728	3.17
Rata-rata	17,941,035	9,133,881	1.96

sebesar 22.674.534.500 M³ dan daya output terendah sebesar 521.232.345 kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 4.35 M³/kWh.

A. Pengaruh musim hujan pada PLTA Tonsea Lama

Musim Hujan Pada PLTA Tonsea Lama diambil Pada Bulan November-Maret

Dalam perhitungan diatas maka kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 17,941,035 M³ dan Energi rata-rata sebesar 9,133,881kWh dan SWC sebesar 1.96 M³/kWh.

Dari tabel VI kita bisa melihat Pemakaian air semakin naik dari bulan november sampai bulan maret dikarenakan oleh faktor musim hujan sehingga Energi yang dihasilkan oleh pembangkit PLTA Tonsea Lama semakin naik. Dari data yang diatas didapat pemakaian air tertinggi pada bulan desember

TABEL VIII .SWC SELAMA MUSIM PANAS

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
APRIL	20,479,946	6,545,880	3.13
MEI	20,479,946	6,545,880	3.13
JUNI	37,816,409	1,193,098,500	3.16
JULI	32,497,745	1,078,078,600	3.014
AGUSTUS	22,355,073	7,546,028	2.97
SEPTEMBER	16,498,935	5,593,995	2.95
OKTOBER	16,498,935	5,593,995	2.95

TABEL IX. SWC SELAMA MUSIM HUJAN

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
NOVEMBER	14,364,852	4,543,110	3.16
DESEMBER	25,873,154	8,169,728	3.17
JANUARI	267,590	8,731,200	3.065
FEBRUARI	247,012	8,223,100	3.004
MARET	25,401,885	7,912,823	3.21

sebesar 28.345.567.800 M³ dan Energi tertinggi sebesar 656.456.342 kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 4.65M³/kWh.

A. Perhitungan SWC pada PLTA Tanggari 1

Perhitungan SWC pada PLTA Tanggari 1 maka kita dapat menghitung *specific water consumption*(SWC) dengan

Dari data pada table VII didapat pemakaian air terendah pada bulan September dan oktober sebesar 16,498,935M³ dan Energi terendah sebesar 5,593,995 kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 2.95 M³/kWh.

B. Pengaruh Musim Hujan Pada PLTA Tanggari 1 Musim Hujan Pada PLTA Tanggari 1 diambil Pada Bulan November-Maret.

menggunakan rumus:

$$SWC = \frac{Q}{W}$$

Melalui hasil data dalam pemakaian air dan Energi yang dikeluarkan masing-masing unit pembangkit maka didapat pemakaian air selama bulan Juni sebesar 37,816,409M³ dan Energi yang dikeluarkan adalah 11,930,985.00kWh.

TABEL X. SWC PADA PLTA TANGGARI 2

BULAN	PEMAKAIAN AIR(M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
JANUARI	267,590	8,731,200	3.065
FEBRUARI	247,012	8,223,100	3.004
MARET	25,401,885	7,912,823	3.21
APRIL	20,479,946	6,545,880	3.13
MEI	23,510,195	7,792,785	3.02
JUNI	37,816,409	11,930,985	3.17
JULI	32,497,745	10,780,786.	3.014
AGUSTUS	23,011,713	7,546,028	3.05
SEPTEMBER	16,498,935	5,593,995	2.95
OKTOBER	16,498,935	5,593,995	2.95
NOVEMBER	14,364,852	4,543,110	3.16
DESEMBER	25,873,154	8,169,728	3.166
Rata-rata	19,705,698	7,780,368	2.53

SWC pada bulan Juni adalah $\frac{37,816,409}{11,930,985.00} = 3.16 \text{ M}^3/\text{kWh}$.

SWC yang didapat pada bulan juni sebesar 3.16 M³/kWh sehingga kita dapat mengetahui dengan pasti pemakaian air sebesar 37,816,409M³ dan Energi yang dikeluarkan sebesar 11,930,985.00kWh.

Dari Perhitungan diatas maka didapatkan SWC di PLTA Tanggari 1 selama tahun 2014 pada tabel dibawah ini.

A. Pengaruh Musim Panas Pada PLTA Tanggari 1

Musim Panas Pada PLTA Tanggari 1 diambil Pada Bulan April-Oktober

Dari tabel diatas kita bisa melihat Pemakaian air semakin naik dari bulan november sampai bulan maret dikarenakan oleh faktor musim hujan sehingga Energi yang dihasilkan oleh pembangkit PLTA Tonsea Lama semakin naik. Dari data yang diatas didapat pemakaian air tertinggi pada bulan Maret sebesar 25,401,885 M³ dan Energi tertinggi sebesar 7,912,823kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 3.21 M³/kWh.

B. Perhitungan SWC pada PLTA Tanggari 2

Perhitungan SWC kita dapat menghitung *specific water consumption*(SWC) dengan menggunakan rumus:

$$SWC = \frac{Q}{W}$$

Melalui hasil data dalam pemakaian air dan Energi yang dikeluarkan masing-masing unit pembangkit maka didapat pemakaian air selama bulan Desember sebesar 25,873,154M³ dan Energi yang dikeluarkan adalah 8,169,727.50kWh.

SWC pada bulan Desember adalah $\frac{25,873,154}{8,169,727.50} = 3.166 \text{ M}^3/\text{kWh}$

TABEL XI. SWC SELAMA MUSIM PANAS

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
APRIL	20,479,946	6,545,880	3.13
MEI	23,510,195	7,792,785	3.02
JUNI	37,816,409	11,930,985	3.17
JULI	32,497,745	10,780,786.	3.014
AGUSTUS	23,011,713	7,546,028	3.05
SEPTEMBER	16,498,935	5,593,995	2.95
OKTOBER	16,498,935	5,593,995	2.95

TABEL XII. SWC SELAMA MUSIM HUJAN

BULAN	PEMAKAIAN AIR (M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
NOVEMBER	14,364,852	4,543,110	3.16
DESEMBER	25,873,154	8,169,728	3.166
JANUARI	267,590	8,731,200	3.065
FEBRUARI	247,012	8,223,100	3.004
MARET	25,401,885	7,912,823	3.21

SWC yang didapat pada bulan januari sebesar 3.166 M³/kWh sehingga kita dapat mengetahui dengan pasti pemakaian air sebesar 25,873,154M³ dan Energi yang dikeluarkan sebesar 8,169,727.50kWh.

Dalam perhitungan tabel X maka kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 19,705,698M³ dan Energi rata-rata sebesar 7,780,368kWh dan SWC sebesar 2.53 M³/kWh.

C. Pengaruh Musim Panas Pada PLTA Tanggari 2

Musim Panas Pada PLTA Tanggari 2 diambil Pada Bulan April-Oktober

Dari data pada table XI didapat pemakaian air terendah pada bulan September dan oktober sebesar 16,498,935M³ dan Energi terendah sebesar 5,593,995 kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 2.95 M³/kWh. Dan juga karena musim yang tidak menentu maka pemakaian air maksimal pada bulan Juni sebesar 37.816.409 M³ dan menghasilkan Energi sebesar 11.930.985 kWh.

D. Pengaruh Musim Hujan Pada PLTA Tonsea Lama

Musim Hujan Pada PLTA Tonsea Lama diambil Pada Bulan April-Oktober

TABEL XIII. PERBANDINGAN SWC PADA PLTA SISTEM MINAHASA

PLTA	PEMAKAIAN AIR(M ³)	ENERGI (kWh)	SWC (M ³ /kWh)
TONSEA LAMA	25,049,419742	557,552,813	4.49
TANGGARI 1	17,941,035	9,133,881	1.96
TANGGARI 2	19,705,698M ³	7,780,368	2.53

Dari tabel XII kita bisa melihat Pemakaian air semakin naik dari bulan november sampai bulan maret dikarenakan oleh faktor musim hujan sehingga Energi yang dihasilkan oleh pembangkit PLTA Tanggari 2 semakin naik. Dari data yang diatas didapat pemakaian air pada bulan Desember sebesar 25,873,154M³ dan Energi tertinggi sebesar 8,169,728kWh sehingga mempengaruhi SWC sebesar 3.166 M³/kWh.

E. Perbandingan antara PLTA Tonsea Lama, Tanggari 1 Dan Tanggari 2

Untuk membandingkan PLTA Tonsea Lama, Tanggari 1 dan Tanggari 2 maka diambil rata-rata tahun 2014.

Melalui hasil tabel XIII maka didapatkan hasil dimana pemakaian air tertinggi dan Energi tertinggi pada PLTA Tonsea Lama dan terendah pada PLTA Tanggari 1 maka berpengaruh pada SWC dimana semakin tinggi pemakaian air pada suatu PLTA maka Energi yang diproduksi semakin tinggi pula dan SWC juga memudahkan untuk mengetahui PLTA mana yang lebih efisien dioperasikan dimana melalui hasil perhitungan SWC ini maka PLTA Tonsea Lama lebih efisien untuk beban *base load* dan lebih efisien dalam mengoperasikannya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dalam menganalisa perhitungan SWC (*Specific Water Consumption*) pada PLTA di Sistem Minahasa memudahkan kita untuk mengetahui pemakaian air dan daya output pada PLTA Tonsea Lama, Tanggari 1 dan Tanggari 2 sehingga dapat mengetahui PLTA mana yang lebih efisien dalam pengoperasiannya.

Pada PLTA Tonsea Lama kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 25049419742 M³ dan Energi rata-rata sebesar 557.552.813 kWh dan SWC sebesar 4.49 M³/kWh. Pada PLTA Tanggari 1 maka kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 17,941,035 M³ dan Energi rata-rata sebesar 9,133,881kWh dan SWC sebesar 1.96 M³/kWh. Pada PLTA Tanggari 2 kita dapat mengetahui SWC tahun 2014 melalui hasil rata-rata pemakaian air sebesar 19,705,698M³ dan Energi rata-rata sebesar 7,780,368 kWh dan SWC sebesar 2.53 M³/kWh.

PLTA sangat efisien digunakan pada saat ini dimana krisis energi yang terjadi maka perlunya penghematan dalam pemakaian air tetapi daya output yang dihasilkan harus memenuhi beban konsumen yang selalu meningkat setiap tahunnya melalui hasil perhitungan ini dapat diketahui

bahwa PLTA Tonsea Lama yang lebih efisien dalam pengoperasiannya.

B. Saran

Pemeliharaan terhadap sistem pembangkit perlu ditingkatkan, agar semua pembangkit tidak sering mengalami gangguan dan dapat beroperasi dengan optimal.

.Pembersihan eceng gondok harus segera dibersihkan karena mempengaruhi debit air pada danau tondano untuk peningkatan dalam pemakaian air pada PLTA di sistem minahasa.

DAFTAR PUSTAKA

1. A., Kuwara, S. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: Pradnya Pramita, 1982.
2. Dj, Marsudi. Pembangkitan Energi Listrik. Jakarta: Erlangga, 2005
3. Dj, Marsudi. *Operasi Sistem Tenaga Listrik (Edisike 2)*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2006.
4. Dj, Marsudi. *Operasi sistem tenaga listrik*, Balai Penerbit & HUMAS ISTN, Jakarta. 1990.
5. El-Hawari, M.E. *Electrical Power Systems: Design and Analysis*. Reston Publishing Company, Reston, Virginia, 1983.
6. H, Nadjamuddin. *Bahan Ajar Perancangan Pembangkitan Tenaga Listrik*, Jakarta, 2001
7. M, Djiteng, 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta,
8. Murty, P.S.R. *Operation and Control in Power Systems*. B S Publications., 2008.
9. O.F. Patty, Ir. *Tenaga air*. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
10. Wood, A.J., Wollenberg, B.F. *Power Generation, Operator, and Control* (2nd ed.). Jhon Wiley & Sons, Inc, 1996.