

Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas

Lukas, Daniel Rohi, Hanny Hosiana Tumbelaka
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl.Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: lucaschow13@gmail.com ; rohi@peter.petra.ac.id ; tumbekh@peter.petra.ac.id

Abstrak— DAS (Daerah Aliran Sungai) Brantas yang terletak di Jawa Timur selain digunakan untuk irigasi, juga untuk pembangkit energi listrik. Setidaknya ada sekitar 12 PLTA yang beroperasi untuk memenuhi kebutuhan listrik di Jawa Timur. Tetapi ada beberapa PLTA menghasilkan daya tidak sesuai dengan daya kapasitas masing-masing bahkan tidak memenuhi target produksi. Untuk itu perlu dikaji dan menemukan faktor-faktor penyebab menurunnya produksi listrik.

Metode yang dilakukan ialah mensurvei ke 3 PLTA yaitu Sengguruh ($2 \times 14,5$ MW), Sutami (3×35 MW) dan Wlingi (2×27 MW); pengumpulan data, wawancara dan analisa data untuk menemukan faktor kapasitas, daya rata-rata dan jam operasi. Setelah itu mengkaji data pemeliharaan PLTA.

Faktor penyebab ialah debit dan sedimen. Pada Sengguruh, dengan volume sedimen sebanyak 48036,15 m³ daya yang dihasilkan 9,43 MW dan debit *inflow* rata-rata 1,57 m³/det mencapai faktor kapasitas sebesar 42%. Pada Sutami, menghasilkan daya 25,67 MW – 29,14 MW dengan debit rata-rata 3 m³/det dan mencapai faktor kapasitas 46,72% - 62,03% dengan debit rata-rata 1,54 m³/det. Pada Wlingi, faktor kapasitas yang dicapai 29,12% - 39,43% dengan debit rata-rata 3,21 m³/det dan untuk menghasilkan daya sebesar 12,61 MW – 14,40 MW dengan debit rata-rata *inflow* sebesar 8,04 m³/det.

Kata Kunci— PLTA, produksi listrik, kinerja, faktor kapasitas, sedimen.

I. PENDAHULUAN

Saat ini pertumbuhan akan kebutuhan listrik di Indonesia sangat tinggi dari tahun ke tahun. Untuk beban puncak yang pada sistem interkoneksi Jawa-Bali sendiri naik 5,90% dari tahun 2013 ke tahun 2014[1]. Tetapi kebanyakan pembangkit yang beroperasi di Indonesia ialah jenis pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil dan memiliki masalah terhadap lingkungan yaitu meningkatnya kadar CO₂ dan pemanasan global[2], [3]. Untuk itu dibutuhkan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan yang dapat mensubstitusi pemakaian bahan bakar fosil[2]. Salah satu pembangkit yang terbukti tidak merusak lingkungan, diversifikasi energi dengan menggunakan energi terbarukan serta menunjang program penggunaan BBM adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)[3].

Menurut studi terbaru tahun 2011 oleh Nippon Koei potensi tenaga air di Indonesia adalah 26 GW, yang terdiri dari 6 GW sedang dalam konstruksi, 4 GW suda beroperasi dan sisanya 16 GW masih belum dimanfaatkan [2]. Dari data diatas dapat dilihat masih perlu memperbanyak PLTA dengan potensi daya yang besar tersebut. Perawatan dan pemeliharaan PLTA juga sangat diperlukan dalam memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat dan untuk mendukung beban dasar (*base load*) atau beban puncak (*peak load*)[3].

Dalam proses pemeliharaan juga diperlukan evaluasi dan analisis kinerja pada PLTA yang sudah ada agar dapat memataui produksi listrik tetap sesuai dengan kapasitas

perencanaan PLTA tersebut. Dalam menentukan kinerja pada PLTA sudah baik adalah dengan meninjau dan mengukur kinerja dari teknologi pada PLTA tersebut agar dapat menemukan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi PLTA tersebut.

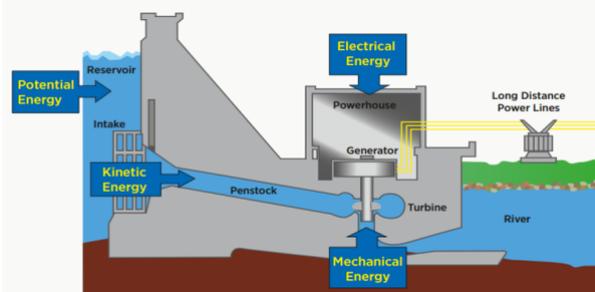
Pada DAS Brantas telah dibangun waduk sebanyak 7 buah dan 12 PLTA yang menghasilkan listrik rata-rata 1.033,56 GWh/tahun. Dalam rangka keberlanjutan pengoperasian PLTA tersebut, maka diperlukan kajian sistematis dan koprihensif untuk mengevaluasi kinerja PLTA terkait faktor-faktor yang mempengaruhi pengoperasian PLTA.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan dibahas tentang teori-teori penunjang untuk mendukung riset ini.

A. Prinsip Kinerja Umum PLTA

Sistem kerja PLTA adalah mengubah energi potensial air yang telah ditampung di waduk menjadi energi kinetik dengan cara mengalirkan air melalui pipa pesat (*penstock*). Kemudian air yang telah dipercepat tersebut akan digunakan untuk memutar turbin. Turbin yang telah berputar disambung dengan *shaft* antara turbin dan generator sehingga rotor pada generator juga akan berputar. Perputaran rotor tersebut akan mengakibatkan perbedaan medan magnet yang akan menghasilkan energi listrik akibat perpotongan oleh stator[4].



Gambar 1. Proses kinerja PLTA secara umum

Sumber : Sector, 2012

Perhitungan daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTA dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut [5]

$$P = k \times H \times Q \times \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \quad (2.1)$$

B. *Faktor Kapasitas (Capacity Factor)*

Faktor kapasitas digunakan untuk menghitung faktor kapasitas suatu pembangkit dalam memproduksi listrik dalam periode 1 tahun. Kapasitas faktor untuk PLTA ialah sebesar 45% [6].

Rumus faktor kapasitas adalah :

$$\frac{\sum kWh \text{ produksi bruto per tahun}}{\sum kW \text{ kapasitas terpasang} \times 8760 \text{ jam}} \times 100\% \quad (2.2.)$$

C. *PLTA dalam Sistem Kaskade*

PLTA-PLTA yang secara hidrolis terhubung secara kaskade menggunakan sebagian air yang sama mulai dari hulu sampai ke hilir[7].

Untuk merencanakan PLTA Kaskade terlebih dahulu perlu ditentukan :

- Besarnya beban selama periode optimasi. Penentuan besarnya beban ini haruslah mengikuti naik turunnya beban subsistem hidro.
- Banyaknya air yang akan dipakai selama periode optimasi. Penentuan banyaknya air yang akan dipakai ini harus memperkirakan curah hujan dan debit sungai-sungai yang bersangkutan, serta memperhatikan pula rencana penggunaan air untuk jangka yang lebih panjang. Misalnya untuk optimasi mingguan harus diperhatikan pula rencana atau pola pemakaian air tahunan terutama jika PLTA Kaskade yang dioperasikan mempunyai kolam tando tahunan.

Dalam perhitungan optimasi PLTA Kaskade, yang diinginkan adalah volume permulaan dan volume akhir dari air dalam kolam tando pada periode optimasi mengikuti rencana volume air jangka menengah (satu tahun).

D. *Komponen hidrolis PLTA*

Komponen hidrolis pada suatu PLTA terdiri dari[5]

- Aliran sungai (Debit), ialah jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit dipengaruhi oleh curah hujan, keadaan geologi, flora, temperatur dan lain-lain.
- Bendungan (Dam), berfungsi untuk membendung air dan dinaikkan permukaannya untuk mendapatkan perbedaan tinggi air yang diperlukan
- Waduk, digunakan untuk menampung air pada waktu musim hujan atau jam beban kurang untuk persediaan dan pemakaian air pada musim kemarau atau waktu beban puncak
- Bangunan ambil air (Intake Gate), berfungsi sebagai mengambil air langsung dari tempat penyimpanan (waduk) ke dalam saluran air.
- Tangki pendatar (surge tank/surge chamber), digunakan untuk membendung saluran dan mengatur jumlah air untuk menyerap pukulan air (water hammer), saat debit air pada turbin berubah.
- Pipa pesat (penstock), digunakan untuk mengalirkan air dari waduk menuju ke rumah siput (spiral case).
- Saluran bawah (Tail Race), ialah sebuah saluran yang dilalui oleh air yang ke luar dari turbin air, terus ke sungai atau ke laut.

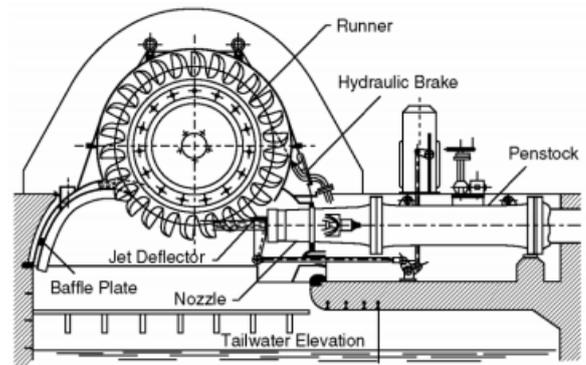
E. *Turbin air*

Turbin ialah alat untuk mengkonversi energi mekanik air menjadi perputaran *shaft*. Jenis-jenis turbin dibagi menurut jenis putarannya adalah sebagai berikut [5] :

- Turbin impuls, dibuat agar *runner* bekerja karena aliran air; disini beda tinggi air diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi.
- Turbin reaksi, dibuat agar *runner* bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun karena tekanan.

Jenis-jenis turbin air yang banyak digunakan yaitu [5] :

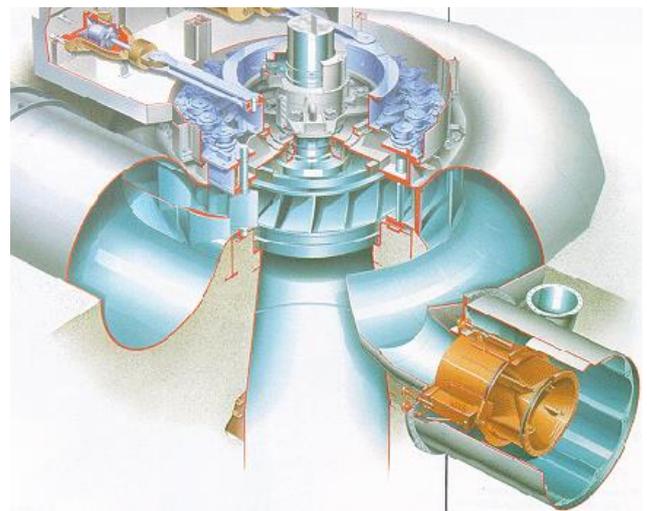
- Turbin Pelton, dipakai untuk tinggi air terjun (*head*) yang tinggi. Desain turbin ini dilengkapi dengan *buckets* yang dipasang pada sekeliling piringannya untuk menerima semprotan dari mulut pancaran (*nozzles*). Ada bagian pada turbin yaitu *Deflector* untuk membelokkan pancaran air dan dipasang Antara mulut pancaran dan rotor.



Gambar 2. Konstruksi turbin pelton

Sumber :Manno, 2013

- Turbin Francis, digunakan untuk berbagai keperluan karena jangkauan daya yang lebar dan dengan *head* yang menengah. Turbin ini di desain dengan *spiral case* yang sesuai dengan *head* dan *stay vane* untuk menahan tekanan hidrolis yang berlebihan. *Guide vane* digunakan untuk mengatur air yang masuk dengan mengubah bukaan *guide vane* agar daya yang keluar sesuai mekanisme pengaturan.

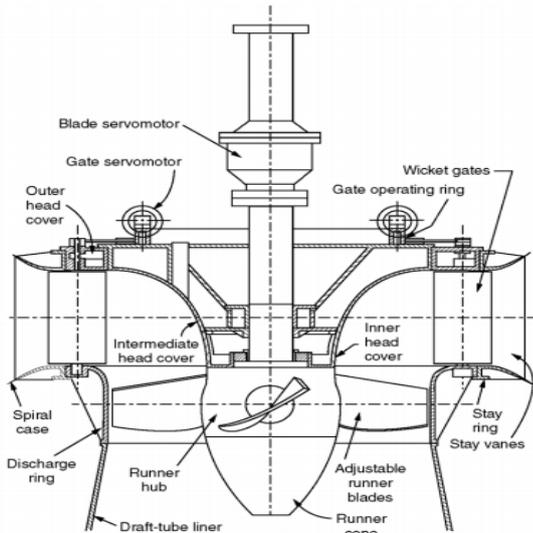


Gambar 3. Konstruksi turbin francis

Sumber : <http://fiden-2.phys.uaf.edu/>

- Turbin Kaplan, digunakan untuk *head* yang rendah. Sudu rotor pada turbin mempunyai konstruksi yang dapat digerakkan dan dapat merubah arah sudut *runner* secara manual atau otomatis. *Runner* pada turbin Kaplan diatur

oleh tekanan minyak melalui katup pengontrol dari governor.



Gambar 4. Konstruksi turbin Kaplan

Sumber : Manno, 2013

F. Komponen Elektris PLTA

Komponen elektris pada PLTA terdiri dari [5], [9]:

- Generator, merupakan komponen pada PLTA yang akan menghasilkan listrik dari perputaran runner turbin yang disambung pada rotor dengan shaft.
- Sistem eksitasi, digunakan untuk membangkitkan tegangan keluaran pada generator. Prinsip sistem eksitasi ialah mengalirkan arus penguatan (arus DC) pada belitan medan rotor. Kemudian medan magnet pada rotor yang berputar karena terhubung dengan shaft turbin akan terpotong oleh blitan stator yang diam. Perpotongan tersebut akan menghasilkan tegangan listrik.
- AVR (*Automatic Voltage Regulation*), digunakan pada generator untuk mengatur tegangan pada keadaan kerja normal konstan, mengatur besar daya reaktif, menaikkan batas daya stabilitas peralihan.

G. Kendala-kendala operasi PLTA

Kendala-kendala dalam pengoperasian PLTA yang perlu diperhatikan adalah [7]

- Beban maksimum yang disebabkan adanya bagian yang kurang sempurna seperti : bantalan atau poros yang kurang baik posisinya; dan kurang tinggi permukaan air dalam kolam tando sehingga head tidak cukup untuk membangkitkan energy listrik.
- Beban minimum disebabkan karena adanya kavitasi pada turbin dan air untuk syarat minimum yang keluar dari PLTA tidak cukup.
- Sedimen, tingginya suatu sedimen pada waduk dapat juga mempengaruhi kinerja dari

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. PLTA Senggruh

PLTA Senggruh terletak di sebelah selatan kota Malang sejauh 24 km disebelah hilir pertemuan sungai Brantas dan Sungai Lesti dan terletak 14 km disebelah hulu Bendungan Sutami. Kapasitas terpasang $2 \times 14,5$ MW dan aktualnya 10 MW. Berdasarkan kegunaan waduk dan Bendungan ialah sebagai penahan sedimen yang kana masuk ke bendungan

Karangates, sehingga dapat memperpanjang umur ekonomis bendungan Karangates. Sehingga waduk Senggruh banyak terdapat sedimen.

Dari hasil data hasil produksi didapatkan hasil produksi listrik yang dibandingkan dengan target dari PT. PJB UP BRANTAS, daya rata-rata, *capacity factor* dan jam kerja PLTA Senggruh.

Tabel 1. Hasil Rekapitan Produksi Listrik PLTA Senggruh

Tahun	CF (%)	Jam Kerja (Jam)	Daya (MW)	Produksi Listrik (Kwh)	
				Realisasi	Target
2011	32,28	8768,66	9,43	82.006.200	72.412.621
2012	31,94	8141,14	9,62	81.128.418	77.420.186
2013	15,40	3994,22	9,78	39.125.462	29.895.745
2014	22,99	934,993	8,69	58.396.404	56.364.141
2015	25,48	6307,98	10,63	64.731.056	77.704.436

Untuk hasil rekapitan yang didapatkan, yang akan dibandingkan ialah tahun 2011, 2012 dan 2015 karena data yang diperoleh tidak lengkap pada tahun 2013 dan 2014. Dari hasil rekapitan yang didapatkan, adanya korelasi antara jam operasi dan *capacity factor* karena pada saat jam operasi naik maka *capacity factor* juga naik begitu pula sebaliknya.

Tabel 2. Perbandingan CF dan Jam Operasi PLTA Senggruh

Tahun	Jam Kerja (jam)	CF (%)	Jam Operasi : CF
2011	8768.66	32.28	271.64
2012	8141.14	31.94	254.93
2015	6307.98	25.48	247.56
Rata-rata			258.04

Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa 1% *capacity factor* maka PLTA harus beroperasi selama 258,04 jam. Jika dibandingkan dengan data hidrologi yang didapatkan adalah jumlah curah hujan, debit *inflow*, elevasi waduk.

Tabel 3. Hasil rekapitan data hidrologi PLTA Senggruh

Tahun	Elevasi (m)		<i>Inflow</i> (m ³ /det)	Curah Hujan (mm)
	Tertinggi	Terendah		
2011	292.640	292.213	53.78	533.5
2012	292.619	292.242	47.54	672.375
2013	292.680	292.238	71.53	695
2014	292.521	292.353	19.68	N.A
2015	292.620	292.250	39.29	N.A

Dari hasil rekapitan data yang didapatkan, jika dibandingkan dengan hasil rekapitan produksi listrik maka didapatkan perbandingan antara *capacity factor* dengan *inflow* serta jam operasi dengan *inflow*.

Tabel 4. Perbandingan CF dan *Inflow* PLTA Senggruh

Tahun	<i>Inflow</i> (m ³ /det)	CF (%)	<i>Inflow</i> : CF
2011	53.78	32.28	1.67
2012	47.54	31.94	1.49

2015	39.29	25.48	1.54
Rata-rata			1.57

Dari hasil perbandingan didapatkan, untuk meningkatkan 1% *capacity factor* maka *inflow* yang dibutuhkan adalah 1,57 m³/det.

Tabel 5. Perbandingan Jam kerja dan *Inflow* PLTA Sengguruh

Tahun	<i>Inflow</i> (m ³ /det)	Jam kerja (jam)	Jam Operasi : Debit
2011	53.78	8768.66	163.03
2012	47.54	8141.14	171.26
2015	39.29	6307.98	160.56
Rata-Rata			164.95

Dari hasil perbandingan tersebut, maka besarnya *inflow* sangat berpengaruh untuk peningkatan dan penurunan jam operasi dan *capacity factor*. berdasarkan perhitungan daya aktual saat ini untuk PLTA Sengguruh berdasarkan data perusahaan bulan Desember adalah sebagai berikut

$$Head\ gross = EL.\ Waduk - EL.\ Tail\ race$$

$$Head\ gross = 292,280 - 266,400$$

$$Head\ gross = 25,88\ m$$

$$Head\ nett = head\ gross - head\ loss$$

$$Head\ net = 25,88 - 0,22065$$

$$Head\ net = 25.66\ m$$

Maka daya yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut

$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta\ turbin \times \eta\ generator$$

$$P = 9,8 \times 25,66 \times 53,53 \times 0,78 \times 0,97$$

$$P = 10.184,65\ kW$$

Dari perhitungan daya aktual tersebut maka dengan debit air sebesar 53,53 m³/det dan *head* 25,66 m didapatkan daya sebesar 10,18 MW.

Faktor penurunan kinerja PLTA Sengguruh juga berpengaruh pada jumlah total sedimen pada waduk. Perbandingan antara jumlah sedimen waduk dengan daya rata-rata yang dihasilkan berbanding terbalik karena jika sedimen banyak maka daya yang dihasilkan menjadi sedikit. Jika sedimen sedikit maka daya yang dihasilkan akan meningkat.

Tabel 6. Perbandingan Volume Sedimen Dengan Daya Rata-Rata

Tahun	Zona 1	Daya Rata-Rata	Sedimen 1 : Daya
2011	2400.53	9.43	254.56
2012	1463.20	9.62	152.18
2015	162.07	10.42	15.56

Dari hasil tabel perbandingan antara volume sedimen dengan daya yang dihasilkan, terbukti berbanding terbalik antara dua data tersebut. Berdasarkan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin sangat baik karena adanya jadwal pemeliharaan yang harus dilakukan agar tetap menjaga kondisi PLTA tetap baik dalam memproduksi listrik.

Tabel 7. Jadwal Pemeliharaan PLTA Sengguruh

Peralatan	Jadwal	Tindakan
	Harian	Check Visual

Turbin/Servomotor	Tahunan (dilaksanakan pada saat AI)	Check Kebocoran Oli
		Pembersihan Bagian Luar
		Check Buka/Penutupan Guide Vane
		Check Tekanan Oli Bertekanan Dalam Tabung
Turbin/Shaft Guide Bearing	Harian	Pemeriksaan Kabel Sumber Daya Dan Kabel Kontrol
		Memeriksa Dan Mencatat Level Oli
Turbin/Shaft Seal	Harian	Memeriksa Kebocoran Dan Baut Yang Kendur
		Memeriksa Aliran Air Pendingin
		Menyedot Lumpur
Turbin/Turbine Pit	Harian	Check Visual Semua Bagian Mekanikal, Hidrolik Dan Peralatan Elektris
		Memeriksa Pompa Dan Motor
		Mengencangkan Baut Yang Kendur
Generator	Harian	Check Visual
		Pembersihan Kotoran Pada Housing Generator
	Bulanan	Pembersihan Kotoran Pada Pipa Air Pendingin
		Pengukuran Tahanan Isolasi Stator/Rotor

Berdasarkan data, terlihat bahwa jadwal pemeliharaan pada PLTA Sengguruh sangat baik karena mencakup semua bagian yang penting dalam mendukung kinerja unit pembangkit.

Dari data-data yang telah dibahas, maka dapat disimpulkan bahwa kinerja PLTA menurun diakibatkan oleh :

- Sedimen, karena hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan sebesar 65% dari daya kapasitas sebenarnya dengan volume sedimen sebesar 48.036,15 m³.
- Debit *inflow*, dikarenakan dengan daya yang menurun sebesar 73% dari debit *inflow* pada tahun 2015 yang menyebabkan menurunnya jam operasi PLTA yang juga akan berdampak pada *capacity factor* serta daya yang dibangkitkan.

B. PLTA Sutami

PLTA Sutami terletak sekitar 35 km di sebelah selatan kota Malang ke arah kota Blitar. Kapasitas daya yaitu 3x35 MW. Berdasarkan kegunaan waduk dan Bendungan ialah Bendungan ini didesain untuk mengendalikan banjir juga dirancang sebagai sumber debit air bagi irigasi daerah hilir. Dengan debit air yang mencapai 24 m³/detik pada musim kemarau sehingga bisa menjadi persediaan untuk pasokan air untuk irigasi seluas 34.000 hektar.

Dari hasil data hasil produksi didapatkan hasil produksi listrik yang dibandingkan dengan target dari PT. PJB UP BRANTAS, daya rata-rata, *capacity factor* dan jam kerja PLTA Sutami.

Tabel 8. Hasil Rekapitan Produksi Listrik PLTA Sutami

Tahun	CF (%)	Jam Kerja (jam)	Daya (MW)	Produksi Listrik (Kwh)	
				Realisasi	Target
2011	57.14	18.842,15	27,29	525.590.900	415.144.769
2012	50.56	16.786,71	26,91	465.036.300	462.187.072
2013	62.03	19.234,18	29,14	570.526.900	382.289.548
2014	46.72	16.335,85	25,67	429.721.900	405.108.184

2015	48.76	16.580,68	26,27	448.468.400	410.777.857
------	-------	-----------	-------	-------------	-------------

Dari hasil rekapan tersebut, didapatkan bahwa jam kerja dan *capacity factor* ditemukan adanya korelasi perbandingan terkait kinerja PLTA.

Tabel 9. Perbandingan Jam Kerja dan CF PLTA Sutami

Tahun	Jam Kerja (jam)	CF (%)	Jam Operasi : CF
2011	18842.15	57.14	329.7433
2012	16786.71	50.56	332.0260
2013	19234.18	62.03	310.0923
2014	16335.85	46.72	349.6614
2015	16580.68	48.76	340.0665
Rata-rata			332.3179

Dari hasil perbandingan tersebut, dapat disimpulkan untuk meningkatkan 1% *capacity factor* maka PLTA Sutami harus beroperasi selama 332, 31 jam. Data hasil rekapan data hidrologi yang didapatkan adalah curah hujan, elevasi waduk dan debit *inflow*.

Tabel 10. Hasil rekapan data hidrologi PLTA Sutami

Tahun	curah hujan (mm)	elevasi (m)		<i>inflow</i> (m ³ /det)
		tertinggi	terendah	
2011	689.67	269.25	267.25	85.73
2012	753.17	268.869	266.053	78.38
2013	190.00	269.193	266.603	94.92
2014	293.50	268.193	265.775	71.35
2015		267.601	265.001	76.59

Dari data hasil rekapan tersebut, jika dibandingkan dengan data hasil produksi maka debit *inflow* dapat dibandingkan dengan *capacity factor* dan daya rata-rata.

Tabel 11. Perbandingan *Inflow* dan Daya PLTA Sutami

Tahun	<i>Inflow</i>	Daya Rata-rata	Debit : Daya
2011	85.73	27.29	3.14
2012	78.38	26.91	2.91
2013	94.92	29.14	3.26
2014	71.35	25.67	2.78
2015	76.59	26.27	2.92
Rata-rata			3.00

Dari hasil perbandingan, didapatkan bahwa dengan debit rata-rata 3 m³/det dapat dihasilkan daya 1 MW.

Tabel 12. Perbandingan *Inflow* dan CF PLTA Sutami

Tahun	<i>Inflow</i>	CF	Debit : CF
2011	85.73	57.14	1.50
2012	78.38	50.56	1.55
2013	94.92	62.03	1.53
2014	71.35	46.72	1.53
2015	76.59	48.76	1.57

Rata-rata	1.54
-----------	------

Dari hasil perbandingan tersebut, maka untuk menghasilkan 1% *capacity factor* maka diperlukan debit *inflow* sebesar 1,54 m³/det.

Tabel 13. Perbandingan *Inflow* dan Jam Kerja PLTA Sutami

Tahun	Debit <i>Inflow</i>	Jam Kerja	Jam Operasi : <i>Inflow</i>
2011	85.73	18842.15	219.79
2012	78.38	16786.71	214.17
2013	94.92	19234.18	202.63
2014	71.35	16335.85	228.94
2015	76.59	16580.68	216.48
Rata-Rata			216.40

Dari hasil perbandingan data hidrologi, maka data disimpulkan bahwa debit *inflow* berpengaruh pada besar dan kecilnya jam kerja, *capacity factor* dan daya rata-rata yang dihasilkan. Perhitungan daya aktual pada PLTA Sutami berdasarkan pada data laporan perusahaan bulan Desember 2015 adalah sebagai berikut.

$Head\ gross = avg\ EL.\ Waduk - avg\ EL.\ Tail\ race$

$$Head\ gross = \frac{261,56+259,73}{2} - \frac{182,90+181,40}{2}$$

$$Head\ gross = 78,49\ m$$

$$Head\ nett = head\ gross - head\ loss$$

$$Head\ net = 78,49 - 0,22065$$

$$Head\ net = 78,27\ m$$

Maka didapatkan daya yang dihasilkan adalah sebagai berikut

$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta\ turbin \times \eta\ generator$$

$$P = 9,8 \times 78,27 \times 72,20 \times 0,9 \times 0,9$$

$$P = 44.861,24\ kW$$

Dari hasil perhitungan daya aktual PLTA Sutami, dapat disimpulkan bahwa besar *head* dan debit *inflow* pada PLTA Sutami mampu membangkitkan daya sebesar 35 MW. Berdasarkan data pemeliharaan PLTA Sutami dapat dikatakan baik karena adanya jadwal pemeliharaan yang terstruktur untuk dilakukan. Jadwal pemeliharaan tersebut sudah terstruktur untuk menjaga kinerja pada peralatan unit pembangkit tetap baik. Berikut tabel jadwal pemeliharaannya.

Tabel 14. Jadwal Pemeliharaan PLTA Sutami

Peralatan	Jadwal	Tindakan
Generator	Harian	Check Visual
		Memeriksa Suhu Stator
		Pembersihan Kotoran Pada <i>Housing</i> Generator
	Bulanan	Pembersihan Kotoran Pada Pipa Air Pendingin Dan <i>Air Cooler</i>
		Memeriksa <i>Brake</i> Pada Generator
Turbin/Hydraulic System	Harian	Pengukuran Tahanan Isolasi Stator/Rotor
		Check Visual
		Check Kebocoran Oli
		Pembersihan Bagian Luar
	Bulanan	Check Motor Pompa Oli

		Check Tekanan Oli Bertekanan Dalam Tabung
		Penambahan Oli Pada <i>Sump Tank</i>
		Pemeriksaan Saluran Oil Cooler
Turbin/Shaft Seal	Harian	Memeriksa Kebocoran Dan Baut Yang Kendur
		Memeriksa Aliran Air Pendingin
		Menyedot Lumpur Jika Ada
Turbin/Shaft Guide Bearing	Harian	Memeriksa Dan Mencatat Level Oli
		Memeriksa Kebocoran Dan Baut Yang Kendur

Untuk PLTA Sutami usaha untuk pengurangan sedimen, maka dilakukan penghijauan disekitar waduk Sutami.

Dapat ditarik kesimpulan, penyebab kinerja PLTA Sutami menurun adalah debit *inflow* karena dari data-data yang telah dibandingkan bahwa kenaikan dan penurunan pada debit *inflow* menyebabkan naik dan turunnya daya rata-rata.

C. PLTA Wlingi

PLTA Wlingi yang menggunakan aliran sungai Brantas ini terletak sejauh ± 30 km di sebelah hilir bendungan Karangates dan terletak di daerah kabupaten Blitar. Kapasitas yang terpasang 2x27 MW dan aktualnya 13-14 MW. Adapun kegunaan dari waduk dan bendungan pada PLTA Wlingi yang memungkinkan terjadinya pengurangan air adalah:

- Sebagai pengatur debit air (*after bay*) PLTA Sutami.
- Pembangkit listrik dengan daya terpasang 2x27 MW.
- Sebagai pengendali banjir dan pasir dari gunung Kelud.

Data hasil produksi listrik juga memiliki hasil rekapan yang sama dengan dua PLTA sebelumnya.

Tabel 15. Hasil Rekapan Produksi Listrik PLTA Wlingi

Tahun	CF (%)	Jam Kerja (jam)	Daya (MW)	produksi Listrik (kWh)	
				realisasi	target
2011	35,95	10.992,77	14,40	170.035.200	145.994.640
2012	32,77	10.629,31	13,87	155.016.800	152.572.339
2013	39,43	12.491,04	14,44	18.6521.600	125.765.994
2014	29,12	10.396,68	12,61	137.748.900	135.356.035
2015	30,16	10.702,89	12,83	133.609.121	142.646.599

Dari hasil rekapan data tersebut, maka data yang dapat dibandingkan adalah jam kerja dengan *capacity factor*.

Tabel 16. Perbandingan jam operasi dan *capacity factor* PLTA Wlingi

Tahun	Jam Operasi	CF	Jam Operasi : CF
2011	10,992.77	35.95	305.8202
2012	10,629.31	32.77	324.3577
2013	12,491.04	39.43	316.7903
2014	10,396.68	29.12	357.0288
2015	10,702.89	33.48	319.6801
Rata-rata			324.7354

Dari hasil perbandingan untuk menambah 1% *capacity factor* maka unit pembangkit harus beroperasi selama 324 jam. Berikut adalah hasil rekapan data hidrologi untuk PLTA Wlingi.

Tabel 17. Hasil rekapan data hidrologi PLTA Wlingi

Tahun	elevasi		<i>inflow</i>	curah hujan
	tertinggi	terendah		
2011	163.51	161.98	119.21	160.5
2012	163.500	162.039	107.11	233.525
2013	163.542	161.985	125.99	
2014	163.675	162.577	95.65	
2015	163.500	162.580	100.66	

Berdasarkan data diatas, jika dibandingkan dengan data sebelumnya maka dapat dibandingkan data *inflow* dengan *capacity factor* dan daya rata-rata.

Tabel 18. Perbandingan *Inflow* dan daya PLTA Wlingi

Tahun	<i>Inflow</i> (m ³ /det)	Daya (MW)	Debit : Daya
2011	119.21	14.4	8.28
2012	107.11	13.87	7.72
2013	125.99	14.44	8.73
2014	95.65	12.61	7.59
2015	100.66	12.72	7.91
Rata-rata			8.04

Berdasarkan data perbandingan, maka untuk meningkatkan daya 1 MW diperlukan debit sebesar 8,04 m³/det.

Tabel 19. Perbandingan *Inflow* dan CF PLTA Wlingi

Tahun	<i>Inflow</i> (m ³ /det)	CF (%)	Debit : CF
2011	119.21	35.95	3.32
2012	107.11	32.77	3.27
2013	125.99	39.43	3.20
2014	95.65	29.12	3.28
2015	100.66	33.48	3.01
Rata-rata			3.21

Berdasarkan untuk hasil dari perbandingan, maka untuk meningkatkan 1% *capacity factor* maka diperlukan *inflow* sebesar 3,21 m³/det.

Tabel 20. Perbandingan *Inflow* dan jam kerja PLTA Wlingi

Tahun	<i>Inflow</i> (m ³ /det)	Jam Kerja (jam)	Jam Operasi : Debit
2011	119.21	10,992.77	92.21136
2012	107.11	10,629.31	99.24071
2013	125.99	12,491.04	99.1431
2014	95.65	10,396.68	108.6978
2015	100.66	10,702.89	106.3303
Rata-rata			101.1247

Dapat ditarik kesimpulan, bahwa debit *inflow* pada PLTA Wlingi sangat berpengaruh pada jam kerja, *capacity factor* dan daya yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan daya aktual

dari data laporan perusahaan Desember 2015 adalah sebagai berikut.

$$\text{Head gross} = \text{avg EL. Waduk} - \text{avg EL. Tail race}$$

$$\text{Head gross} = \frac{163.50+162.65}{2} - \frac{141.25+139.15}{2}$$

$$\text{Head gross} = 22,87 \text{ m}$$

$$\text{Head nett} = \text{head gross} - \text{head loss}$$

$$\text{Head net} = 22,87 - 0,22065$$

$$\text{Head net} = 22,65 \text{ m}$$

Maka daya yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut

$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 9,8 \times 22,65 \times 82,45 \times 0,9 \times 0,9$$

$$P = 14.827,42 \text{ kW}$$

Berdasarkan perhitungan daya maka didapatkan PLTA Wlingi hanya dapat menghasilkan 54% dari daya kapasitasnya. Berdasarkan data sedimen dan sampah tidak ditemukan korelasi berkaitan kinerja PLTA. Berikut adalah rekapan datanya.

Tabel 21. Perbandingan Sedimen Dengan Daya Dan CF

Tahun	Sedimen	Daya (MW)	CF (%)
2011	16,015.65	14.4	35.95
2012	11,130.72	13.87	32.77
2013	16,061.85	14.44	39.43
2014	20,330.16	12.61	29.12

Berdasarkan data perbandingan tersebut, tidak ditemukan korelasi seperti pada PLTA Sengguruh. Seharusnya antara sedimen dan daya serta *capacity factor* berbanding terbalik.

Tabel 22. Perbandingan Racking Sampah Dengan Daya Dan CF

Tahun	Racking Sampah	Daya (MW)	CF (%)
2011	654	14.4	35.95
2012	734	13.87	32.77
2013	843	14.44	39.43
2014	422	12.61	29.12
2015	291	12.72	33.48

Berdasarkan data perbandingan tersebut, tidak ditemukan korelasi. Seharusnya antara sampah dan daya serta *capacity factor* berbanding terbalik. Karena semakin banyak sampah diracking maka semakin besar daya yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Faktor kapasitas rata-rata PLTA Sutami yang diteliti pada tahun 2011 – 2015 adalah sebesar 53,04% yang dapat dikatakan baik karena telah melebihi kapasitas faktor PLTA yaitu 45%. Sedangkan kapasitas faktor rata-rata Sengguruh dan Wlingi adalah 25,62 % dan 33,48% sehingga tidak dapat mencapai kapasitas produksi yang ditentukan pada tahun yang sama.
- Masalah sedimen pada PLTA Sengguruh yang menyebabkan daya listrik yang dihasilkan menurun paling

besar dari 14,5 MW menjadi 9.43 MW pada saat jumlah volume sedimen sebesar 48.036,15 m³ pada tahun 2011.

- Debit air *inflow* pada PLTA Sengguruh dengan rata-rata debit *inflow* sebesar 1,57 m³/det dapat menghasilkan rata-rata *capacity factor* sebesar 25,48% - 32,28% untuk tahun 2011 - 2015.
- Daya dan *capacity factor* pada PLTA Sutami sangat berpengaruh kepada besarnya debit *inflow* dengan rata-rata debit *inflow* 1,54 m³/det dapat menghasilkan *capacity factor* 46,72% - 62,03%, dan dengan rata-rata debit 3 m³/det dapat menghasilkan daya rata-rata 25,67 MW dan 29,14 MW pada tahun 2011 - 2015.
- Debit air *inflow* PLTA Wlingi berpengaruh pada besarnya *capacity factor* dan daya. Debit rata-rata *inflow* sebesar 3,21 m³/det untuk menghasilkan *capacity factor* minimal 29,12% dan maksimal 39,43% dan dengan rata-rata debit *inflow* sebesar 8,04 m³/det dapat menghasilkan daya maksimal 12,61 MW dan minimal 14,40 MW pada tahun 2011 - 2015.
- Sistem pemeliharaan ketiga PLTA tersebut sangat baik karena kinerja mesin dan elektrik masih bekerja dengan baik, jika ada beberapa hal yang harus diperbaiki saat *maintenance* merupakan masalah teknis karena *lifetime* penggunaan komponen tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pln, "Statistik PLN 2014," no. 02701, 2015.
- [2] Bppt, *Outlook Energi Indonesia 2014*. 2014.
- [3] A. Lubis, "Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan," vol. 8, no. 2, 2007.
- [4] Anonim, "Diktat Materi Training Class PLTA Sengguruh." 1989.
- [5] A. Arismunandar and K. Susumu, "Teknik Tenaga Listrik." p. 121, 2004.
- [6] IRENA, "Hydropower Tecnology Brief," no. February, 2015.
- [7] D. Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik." p. 576, 2006.
- [8] M. Manno, "Energy Systems course Lecture notes Hydraulic Turbines and Hydroelectric Power Plants Hydraulic Turbines and Hydroelectric Power Plants," 2013.
- [9] C. C. Warnick, *Hydropower Engineering*, vol. 1. 1984.