

Analisis Pengaruh *Repitching Fan Blade* Terhadap Performa *Cooling Tower*

Unit 500 di PLTP Salak

Rangga Purwadi^{a,1,*}, Dani Mardiyana^{a,2}.

^a Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, 43152, Indonesia

¹ rangga.purwadi_tm22b@nusaputra.ac.id; ² dani.mardiyana@nusaputra.ac.id;

* Corresponding Author

ABSTRAK

Pembangkit Listrik tenaga panas bumi merupakan salah satu potensi energi bersih terbarukan yang dimiliki oleh Indonesia yang harus dimaksimalkan. PLTP Salak memiliki 3 unit pembangkit akan meningkatkan profil target produksi Listrik yang dihasilkan dari 65MW ke 67MW per unitnya, oleh karena itu setiap komponen inti dari sistem PLTP harus ditingkatkan efisiensi dan performanya. Cooling Tower Fan sebagai bagian utama yang berperan dalam mengatur aliran udara yang diperlukan untuk proses pendinginan. *Repitching*, atau penyesuaian sudut *fan blade*, dilakukan untuk mengoptimalkan performa fan yang diharapkan meningkatkan efisiensi. Dalam satu unit Cooling tower terdapat 6 buah fan, dan *repitching* dilakukan dari sudut $16,8^{\circ}$ ke sudut $17,2^{\circ}$ yaitu sudut maksimal yang diperbolehkan spesifikasi fan. Metode penelitian dilakukan dengan mengambil data *Cooling tower* sebelum dan sesudah *repitching*, dengan mengambil data temperature keluaran, konsumsi daya, dan efisiensi termal. Dampak dari *repitching* fan menunjukkan kenaikan efisiensi cooling tower dari 55,20% ke 55,35% namun juga meningkatkan konsumsi daya listrik dengan bertambahnya ampere maksimum motor fan, total kenaikan sebesar 8 ampere dalam satu unit *cooling tower*.

KATA KUNCI

Cooling tower,
Fan blade,
Repitching,
PLTP Salak
Efisiensi termal

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas bumi sebagai pembangkit listrik utama. Pada prinsipnya sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya saja pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dibuat di atas tanah dengan menggunakan boiler, sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap uapnya berasal dari *reservoir* panas bumi. Proses pembangkitan listrik di PLTP melibatkan konversi energi panas dari sumber geothermal menjadi energi mekanik lalu menjadi energi listrik, yang selanjutnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat [1].

Cooling Tower atau Menara pendingin adalah peralatan untuk mendinginkan air dengan cara mengekstrak suhu panas pada aliran air dan mengekspansinya ke *atmosfer*. Cooling tower menjadi salah satu faktor kunci yang mempengaruhi kinerja keseluruhan PLTP. Cooling tower yang efisien tidak hanya membantu menurunkan suhu air pendingin tetapi juga berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi dan biaya operasional [2].

Saat ini PLTP salak menambah profil target daya yang dihasilkan per unitnya dari 65MW menjadi 67MW. Oleh karena itu efisiensi dan performa dari setiap komponen utama pada pembangkit harus di maksimalkan untuk mencapai target tersebut. Cooling tower adalah salah satu komponen sangat berperan penting dalam proses system PLTP menjadi salah satu komponen utama yang harus di maksimalkan kinerjanya [3][4].

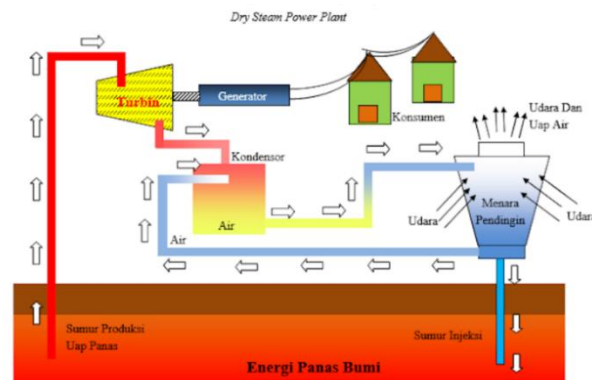
Jenis cooling tower yang digunakan oleh PLTP Salak adalah jenis *Induced draft cross flow*, prinsip penyerapan energi panas dari air yang disirkulasikan adalah dengan mengalirkan udara pendingin secara paksa dengan arah aliran tegak lurus menggunakan 6 fan cooling tower.

Sudut kemiringan atau disebut *pitch angle blade* pada cooling fan sangat berpengaruh terhadap performa Cooling tower. *Pitch blade* menentukan seberapa besar cooling tower fan mampu menarik panas dari fluida yang akan didinginkan.

2. Metodologi

2.1 Sistem pendinginan PLTP

Pada sebuah sistem pembangkit termal, diperlukan sistem pendingin utama. Tugas utama sistem ini adalah menyediakan air pendingin yang dibutuhkan untuk mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin didalam kondensor. Selain itu, sistem pendingin utama juga berfungsi untuk menyuplai air yang digunakan untuk mendinginkan *heat exchanger* pada sistem pendingin bantu, yang merupakan siklus pendinginan tertutup [5].



Gambar 1. Sistem pendinginan PLTP

Gambar tersebut menunjukkan proses kerja pembangkit listrik tenaga panas bumi jenis Dry Steam Power Plant. Uap panas dari dalam bumi diambil melalui sumur produksi dan langsung dialirkan ke turbin untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Setelah melewati turbin, uap sisa dialirkan ke kondensor, di mana uap diubah menjadi air dengan bantuan udara dari menara pendingin (*cooling tower*). Air yang telah didinginkan kemudian dialirkan kembali ke dalam bumi melalui sumur injeksi agar siklus tetap berkelanjutan. Sistem ini memanfaatkan energi panas bumi secara efisien dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang ke atmosfer [6].

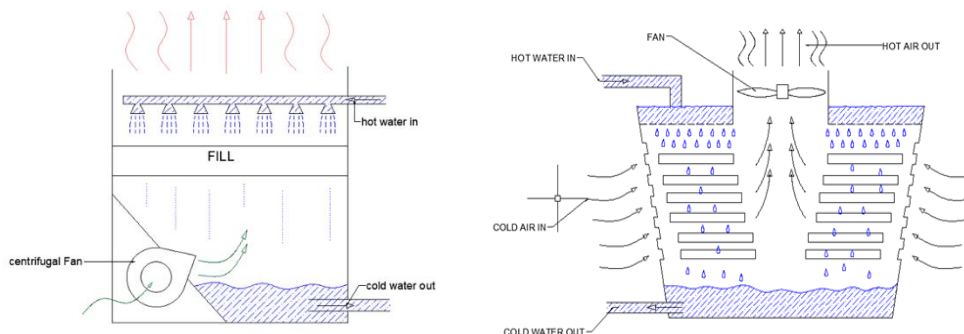
2.2 Pemodelan Geometri Pallet

Cooling Tower atau Menara pendingin adalah peralatan yang berfungsi sebagai pendingin fluida kerja pada sistem dengan cara mengekstrak suhu panas pada alirannya dan mengekspansinya ke atmosfer[7].

Berdasarkan cara aliran udaranya cooling tower dibagi menjadi dua jenis yaitu Natural draft (tanpa fan) dan Mechanical draft (memakai fan untuk mengalirkan udara).

Tipe menara pendingin Mechanical draft dibagi menjadi dua jenis menurut posisi fan nya yaitu :

1. *Force draft*, yaitu kipas ditempatkan di bagian bawah menara pendingin yang bekerja mendorong udara panas ke atas, pada kondisi ini terjadi kontak langsung antara udara yang di hembuskan dengan air yang jatuh.[8]
2. *Induced draft*, kipas berada di atas menara (outlet) menghisap udara panas dari dalam cooling tower lalu mengekspansinya ke luar.



Gambar 2. Mechanical force draft dan induced draft Cooling tower

Menara pendingin yang digunakan pada unit PLTP Salak adalah *mechanical draft crossflow tower*, udara masuk melalui sisi kisi menara yang cukup besar dan bergerak melalui fill. Fan dipasang dipuncak menara untuk menghisap udara panas dari *cooling tower*. Udara dingin bebas dari luar masuk dari samping menggantikan udara panas yang keluar. Dari puncak menara tersebut udara panas dan lembab dibuang ke *atmosfer*. Nilai kalor evaporasi serta kalor pendinginan dari

air ke cooling tower seharusnya menghasilkan nilai yang sama atau tidak jauh berbeda, maka perlu dilakukan analisis berdasarkan data desain dan data operasi yang ada pada sistem, serta analisis pada *efektivitas cooling tower* [9].

2.3 Cooling Tower fan

Cooling tower fan adalah peralatan yang berfungsi untuk menggerakkan udara panas dari menara pendingin agar bisa diangkat atau didorong ke atmosfer. Daya yang dibutuhkan oleh fan bergantung pada dua faktor utama: kecepatan udara yang dihasilkan dan kapasitas udara yang dipindahkan.

a. Blade

Blade adalah bilah-bilah kipas yang diputar dengan motor sehingga menimbulkan gaya Tarik dan daya dorong aksial yang mengekspansi udara panas dari dalam menara pendingin ke atmosfer.

b. Pitch angle

Pengaturan sudut pada fan blade sangat berperan penting pada kinerja cooling tower. Jika derajat sudut lebih besar, motor penggerak turbin akan bekerja lebih berat, karena flow dari fan yang besar. Sementara itu, jika derajat sudut lebih kecil, motor akan bekerja lebih ringan, namun flow yang dihasilkan akan lebih kecil, sehingga pendinginan kurang maksimal.

c. Range dan Approach

Range merupakan perbedaan antara temperatur air masuk dan Temperatur keluar menara pendingin. Kinerja yang baik ditunjukkan dengan Range yang tinggi yang berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif.

$$T_{in} - T_{out} \quad (1)$$

Sedangkan Approach adalah Selisih antara suhu air keluar Cooling Tower dengan suhu bola basa udara yang masuk, atau selisih antara suhu air dingin dan suhu bola basa (wet bulb) dari udara.

$$T_{out} - T_{wb} \quad (2)$$

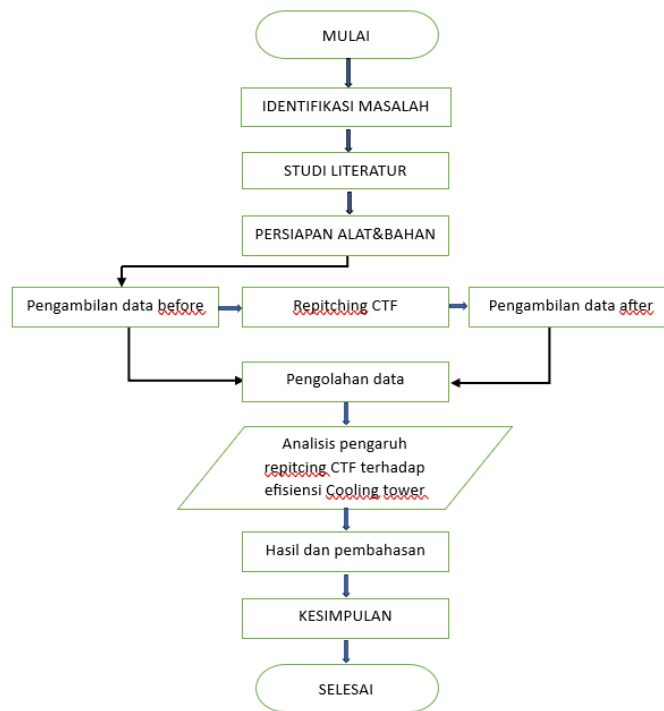
2.4 Efisiensi pendinginan

Efisiensi merupakan persamaan termodinamika yang digunakan untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer terjadi. PLTP dirancang untuk menghasilkan output berupa energi listrik dalam besaran tertentu untuk sejumlah input. Bila seluruh komponen PLTP memiliki efisiensi yang tinggi, maka performa PLTP tersebut dikatakan tinggi sehingga biaya operasi PLTP semakin rendah. Sebaliknya apabila performance PLTP turun, berarti PLTP memerlukan lebih banyak bahan utama untuk menghasilkan output energi listrik sesuai desain yang mengakibatkan biaya operasi menjadi semakin tinggi [10].

Efisiensi pendinginan pada Cooling tower diukur dengan dua parameter utama yaitu *Range* dan *Approach*. perbandingan antara range dan approach merupakan nilai efisiensi dari pendinginan. Semakin tinggi perbandingan ini maka semakin tinggi efisiensi cooling tower.

$$Efisiensi(\%) = \frac{range}{range+approach} \quad \dots (1)$$

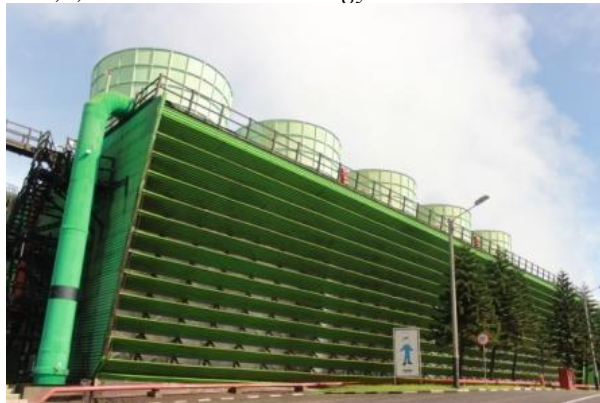
Pada penelitian menggunakan metode *eksperimental*. Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian dibuat diagram alir seperti gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

2.5 Alat dan bahan penelitian

1. Cooling tower Unit 4,5,dan 6 PLTP Star Energy Salak



Gambar 4. Cooling tower

2. Cooling tower fan

Tabel 1. Spesifikasi Cooling tower fan

Jenis	Spesifikasi
Merk	Hudson
Model	TUF-LITE III 6000M series
jenis	Adjustable Pitch Fan
Jumlah blade	6
Diameter	10m
Bahan	Steel galvanized
Motor	speed 1475rpm, 3phase,380V, 150kW



Gambar 5. *Ajustable pitch fan*

3. *Digital protactor*

Protactor adalah alat untuk pengukur sudut kemiringan pada blade saat melakukan setting ulang sudut kemiringan. Pada penelitian ini digunakan Model: Hudson *exact-a-pitch* model 360.



Gambar 6. *Digital protactor*

4. *Temperature humidity transmitter*

Temperature humidity meter adalah alat untuk mengukur temperature, jumlah air dan kelembaban. Digunakan model Vaisala Indigo 500 series transmitters.



Gambar 7. *Temperature humidity transmitter*

2.6 Persiapan Penelitian

Sebelum melakukan kegiatan setting ulang sudut blade, beban output pembangkit di turunkan terlebih dahulu. Karena dengan mematikan satu cooling tower fan, maka efisiensi pendinginan akan berkurang yang artinya suhu air yang di suplai ke kondensor untuk proses kondensasi steam juga menurun. Dengan menurunnya efisiensi kondensasi maka akan menambah backpressure di kondensor yang membuat kerja turbin lebih berat yang bisa mengakibatkan trip pada turbin. Prosedurnya yaitu menurunkan load dan mengurangi steam yang masuk turbin.

2.7 Repitching

Setting ulang pitch angle blade cooling tower yang dilakukan oleh team maintenance rotating di PLTP Salak. Karena satu unit cooling tower memiliki 6 buah fan, maka setiap fan di eksekusi secara bergiliran.

Perubahan sudut pitch dilakukan dari sudut awal 16,80 Ke sudut 17,20 yaitu sudut maksimal dari spesifikasi blade, untuk memaksimalkan kinerja cooling tower fan. Seluruh kegiatan repitching dilakukan Bersama team *maintenance* di PLTP salak.

2.8 Pengambilan data

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen yaitu dengan menggunakan data sekunder logsheet yang merupakan kumpulan data harian operasi.

Pengambilan data dilakukan sebelum repitching cooling tower fan yang dilakukan bersama team *maintenance* di PLTP Salak, lalu setelahnya diambil data kembali. Setelah pengambilan data lalu diolah untuk mengambil Kesimpulan. Data yang diambil yaitu :

- Temperatur masuk (Tin) yaitu Data Temperatur air panas yang masuk ke cooling tower diambil sebelum dan sesudah repitching.
- Temperatur Keluar (Tout) yaitu data Temperatur air yang keluar dari cooling tower diambil sebelum dan sesudah repitching.
- Temperature Wet bulb atau temperatur bola basah yaitu temperature ambien udara lingkungan.
- Ampere maksimum motor diambil sebelum repitching dan sesudahnya.

3. Hasil dan pembahasan

Pengambilan data dilakukan 3 hari sebelum dan 3 hari setelah repitching cooling tower. Data yang dihasilkan dapat dilihat di tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Efisiensi *Cooling tower unit 500*

Pitch angle	T _{in} (°F)	T _{out} (°F)	T _{wb} (°F)	Flow rate (GPM)	Range (°F)	Efficiency (effectivity)
16,8 ^o	106,85	85,22	67,67	109.130,92	21,63	55,20%
17,2 ^o	106,84	85,39	68,09	109.258,24	21,45	55,35%

Berdasarkan tabel 2 menyajikan data efisiensi dari unit cooling tower 500 pada dua kondisi berbeda dengan variasi sudut pitch baling-baling sebesar 16,80° dan 17,20°. Meskipun perbedaan suhu masuk (Tin) dan suhu keluar (Tout) hanya sedikit, peningkatan pitch angle dari 16,80° ke 17,20° menyebabkan sedikit penurunan pada range suhu (dari 21,63°F menjadi 21,45°F). Namun demikian, efisiensi (efektivitas) cooling tower meningkat dari 55,20% menjadi 55,35%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan sudut pitch yang lebih besar memberikan dampak positif terhadap kinerja perpindahan panas, meskipun kenaikannya relatif kecil.

Tabel 3. Ampere maksimum tiap motor *fan*

No	Cooling tower fan	Ampere maximum (before)	Ampere maximum (after)
1	CTF 500A	246	247
2	CTF 500B	239	240
3	CTF 500C	239	241
4	CTF 500D	230	235
5	CTF 500E	234	235
6	CTF 500F	241	239
	Total	1429	1437

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan nilai arus maksimum (*ampere*) pada enam unit motor fan cooling tower sebelum dan sesudah proses *repitching* bilah kipas (*fan blade*). Berdasarkan data, secara umum terjadi kenaikan arus listrik pada sebagian besar motor fan. Sebelum dilakukan repitching, total arus maksimum dari enam fan tercatat sebesar 1429 Ampere, sedangkan setelah repitching meningkat menjadi 1437 *Ampere*, atau naik sebesar 8 Ampere secara keseluruhan. Kenaikan terbesar terjadi pada unit CTF 500D, yang meningkat dari 230 A menjadi 235 A (naik 5 A). Sementara itu, unit CTF 500C juga menunjukkan peningkatan sebesar 2 A, dari 239 A menjadi 241 A. Lima dari enam unit mengalami kenaikan arus, dan hanya satu unit yaitu CTF 500F yang mengalami penurunan arus dari 241 A menjadi 239 A.

Kenaikan arus ini menunjukkan bahwa setelah sudut pitch fan dinaikkan (dari $16,8^\circ$ menjadi $17,2^\circ$), beban kerja pada motor fan juga ikut meningkat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh bertambahnya volume udara yang harus dipindahkan oleh fan setelah *repitching*, sehingga torsi motor naik dan menyebabkan konsumsi arus listrik bertambah. Dengan demikian, meskipun *repitching* memberikan sedikit peningkatan efisiensi pendinginan, hal ini juga berdampak pada naiknya konsumsi daya listrik pada sistem motor fan cooling tower.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa *repitching* sudut kemiringan *blade* pada *cooling tower fan* berpengaruh terhadap *efisiensi Cooling tower*. Maka dari itu pada penelitian ini disimpulkan bahwa :

1. Dengan menambah kemiringan dari $16,8^\circ$ ke $17,2^\circ$ masing-masing di 6 fan yang terdapat pada *Cooling tower* unit 500 berhasil meningkatkan efisiensi sebesar 0,29%.
2. Ada kenaikan ampere maksimum pada setiap motor fan setelah *repitching*. total kenaikannya adalah 8 ampere dalam satu unit *Cooling tower*.
3. *Repitching blade* dari sudut derajat $16,8^\circ$ ke $17,2^\circ$ menambah *effisiensi Cooling tower* namun menambah konsumsi daya listrik.

Daftar Pustaka

- [1] Keumala Hayati Azizah, Suyitno, and Imam Arif Raharjo, "Hubungan Antara Sistem Pendingin Utama Dengan Nilai Efisiensi Pltp Kamojang Unit 4," *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 5–8, 2021, doi: 10.21009/jevet.0061.02.
- [2] "Cooling Tower Fundamentals," 2003, doi: 10.1201/9780203912492.pt4.
- [3] D. Prihananto, "Uji_Eksperimental_Pengaruh_Sudut_Kemirin," 2017.
- [4] A. Melkias, "Analisa Performa Pada Cooling Tower Jenis Mechanical Draft Crossflow," *J. Tek. Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 24–28, 2021, doi: 10.35313/energi.v10i1.2321.
- [5] R. Bangun, A. Pematong, U. O. Dengan, P. Ulir, D. A. N. Pegas, and B. Motor, "Jurnal Inovasi Mesin," vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [6] F. A. Kulo, R. N. Palilingan, and C. A. N. Bujung, "Perbandingan Efisiensi Cooling Tower Unit 2 PLTP Lahendong Sebelum dan Sesudah Overhaul," *J. FisTa Fis. dan Ter.*, vol. 4, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.53682/fista.v4i1.239
- [7] Pitch angle: "Pengaruh sudut fan terhadap kinerja cooling tower", Analisis Pengaruh Repitching Fan Blade, 2025.
- [8] Range dan Approach: "Konsep efisiensi pada sistem pendinginan", Analisis Pengaruh Repitching Fan Blade, 2025.
- [9] Efisiensi cooling tower: "Efisiensi termodinamika sistem PLTP", Analisis Pengaruh Repitching Fan Blade, 2025.
- [10] F. A. Kulo, R. N. Palilingan, and C. A. N. Bujung, "Perbandingan Efisiensi Cooling Tower Unit 2 PLTP Lahendong Sebelum dan Sesudah Overhaul," *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.53682/fista.v4i1.239.