ANALISIS EFISIENSI BOILER MENGGUNAKAN METODE KEHILANGAN PANAS (HEAT LOSSES METHOD) - PLTU BUKIT ASAM UNIT PELABUHAN TARAHAN 2X8 MW

Indra Surya[1], Witoni[2], Muhammad Syaifullah Al-Dzuhri[3]

[1]Program studi Teknik Mesin, Universitas Bandar Lampung (UBL)

Email : ~~indra.surya@ubl.ac.id~~[2]

[2]Program studi Teknik Mesin, Universitas Bandar Lampung (UBL)

Email : witoni@ubl.ac.id

[3]Program studi Teknik Mesin, Universitas Bandar Lampung (UBL)

Email : m.syaifullah.19321002@student.ubl.ac.id

Abstrak

Boiler di PLTU Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan 2x8 MW berfungsi sebagai perangkat untuk menghasilkan uap untuk menggerakan turbin dan memutarkan generator listrik dengan membakar bahan bakar fosil dalam tungku pembakaran. *Boiler* di perusahaan tersebut beroperasi dari tahun 2014 hingga sampai saat ini dan setiap tahunnya sering mengalami penyusutan. Untuk itu dilakukan studi analisa perhitungan efisiensi *boiler* dengan menggunakan metode kehilangan panas (*efficiency by heat loss method*). Hal ini bertujuan untuk menetukan semua kerugian panas yang dapat dipertanggungjawabkan dan kredit panas. Kemudian, efisiensi itu sama dengan 100% dikurangi hasil bagi yang dinyatakan dalam persen. Hasil bagi terdiri dari jumlah semua kerugian yang dapat dipertanggungjawabkan sebagai pembilang, dan panas dalam bahan bakar ditambah kredit panas, sebagai penyebut. Nilai-nilai hasil data diperoleh dengan studi literatur, studi lapangan dan pengolahan data yang di analisa. Berdasarkan dari data dan analisa maka diketahui nilai spesifikasi efisiensi pada *boiler* sebesar 88%. Dan dari penelitian ini juga, dihasilkan nilai efisiensi *boiler* dari total kehilangan panas sebesar 79,6%.

Kata kunci: *Boiler*; PLTU; Pembangkit; Efisiensi; Metode Kehilangan Panas

PENDAHULUAN

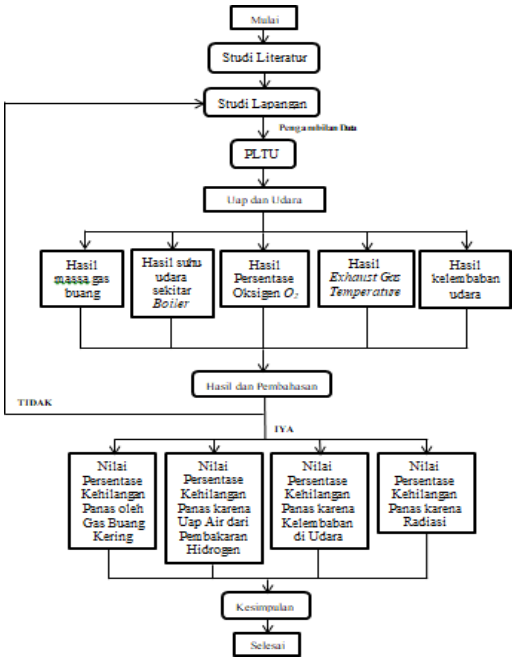
PLTU merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap dari ketel uap, untuk menggerakkan turbin uap yang dipergunakan untuk memutar generator listrik. Dengan itu, salah satu komponen utama pada PLTU adalah *boiler* yang berfungsi memproduksi uap untuk menggerakkan turbin dan memutar generator listrik untuk menghasilkan listrik. Sebab itu, *boiler* harus dikelola dengan baik dan efisien. Dengan kemungkinannya yaitu mengendalikan efisiensi pembangkit listrik sebanyak mungkin karena *Boiler* salah satu perangkat PLTU yang kehandalannya setiap tahun semakin menurun serta mengalami penyusutan. Oleh karena itu, penulis tertarik mengangkat permasalahan tersebut dalam tugas akhir yang berjudul **"Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Kehilangan Panas (*Heat Losses Method*)"**

METODE PENELITIAN

Tujuan penelitian ini untuk mengidenti-kasi kehilangan panas yang terdapat pada Water Tube Boiler tipe CFB

(Circulating Fluidized Bed) kapasitas 50 ton dengan mengefisiensi kinerja boiler. Metode penelitian ini menggunakan metode kuanti-tatif karena metode tersebut berisikan nu-merik yang mulai dari proses pengumpulan data hingga penafsirannya dengan berbagai rumus yang sudah tersedia serta membaca teori-teori yang ada di buku-buku, melakukan observasi dan terjun langsung ke lokasi untuk pengambilan data-data yang diperlukan, melakukan wawancara dengan operator boiler dan karyawan perencanaan dan keteknikan) untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Kemudian, dari data tersebut diolah serta dianalisa.

Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir.

HASIL DAN PEMBAHASAAN

Spesifikasi *Water Tube Boiler*

Spesifikasi *Boiler* di PLTU Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan 2x8 MW	
Merk	**Wuxi**
Model	**UG-50/5.3-M (CFB)**
Kapasitas Produksi Uap	**50 Ton/h**
Tekanan *Steam*	**5.3 Mpa**
Temperatur Uap *Superheated*	**485°C**
Temperatur Air Masuk *Boiler*	**150°C**
Efficiency	**88%**
Manufacturer	**Wuxi Huaguang Boiler Co., Ltd (Wuxi Boiler Works)**
Tipe	***Circulating Fluidized Bed***
Negara Pembuat	**China**
Tahun Pembuatan	**2012**

Tabel 1. Spesifikasi *Boiler*.

Data Perhitungan Analisa

Metode ini didasarkan pada informasi yang akurat dan lengkap yang memung-kinkan perhitungan untuk menetukan semua kerugian panas yang dapat dipertanggung-jawabkan dan kredit panas. Kemudian, Efisiensi itu sama dengan 100% dikurangi hasil bagi yang dinyatakan dalam persen. Hasil bagi terdiri dari jumlah semua keru-gian yang dapat dipertanggungjawabkan sebagai pembilang, dan panas dalam bahan bakar ditambah kredit panas, sebagai penyebut.

Kehilangan yang terjadi di boiler ialah kehilangan panas yang disebabkan dari :

i. Rugi panas yang terbawa gas buang kering.
ii. Rugi kelembaban bahan bakar.
iii. Rugi kelembaban karena pembakaran hidrogen.
iv. Rugi kelembaban udara pembakaran.

Data yang diperlukan adalah data yang aku-rat, antara lain:

- Analisis *proximate* bahan bakar.
- Analisis *ultimate* bahan bakar.
- Kelembaban udara.
- GCV bahan bakar.

Berikut dibawah ini penjabaran serta penjelasannya:

$$L = 100\% - (L_{G'} + L_{mf} + L_H + L_{mA})$$

Kehilangan panas pada Boiler, disebabkan dari :

L : Total kehilangan panas,
$L_{G'}$: Rugi panas yang terbawa gas buang kering,
L_{mf} : Rugi kelembaban bahan bakar,
L_H : Rugi kelembaban karena pembakaran hidrogen,
L_{mA} : Rugi karena kelembaban udara pembakaran.

Persentase Kehilangan Panas dalam Gas Buang kering

$$L_{G'} = \frac{W_{G'} \times C_{pG'}(t_G - t_{RA})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

Keterangan :

$W_{G'}$ = Massa gas buang (kg/kg bahan bakar)

$C_{pG'}$ = Panas jenis uap (0,48 kkal/kg°C)

t_G = Suhu gas buang (°C)

t_{RA} = Suhu udara sekitar *Boiler* (°C)

Persentase Kehilangan Panas karena Kandungan Air dari Bahan Bakar

$$L_{mf} = \frac{m_f \times (t_G - t_{RA})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

Keterangan :

mf = Kandungan air dalam bahan bakar (%)

t_G = Suhu gas buang (°C)

t_{RA} = Suhu udara sekitar *Boiler* (°C)

Persentase Kehilangan Panas karena Uap Air dari pembakaran Hidrogen

$$L_H = \frac{8{,}936 \times H_2\ (h_{fg} - h_{Rw})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

Keterangan :

$8{,}936$ = Air yang dihasilkan dari pembakaran 1 kg hidrogen

H_2 = Kandungan H_2 dalam bahan bakar

h_{fg} = Entalpi suhu gas buang (kJ/kg)

h_{Rw} = Entalpi uap air (kJ/kg)

Persentase Kehilangan Panas karena Kelembaban di Udara

$$L_{mA} = \frac{A'_{AS} \times t_{RA}\ (h_{fg} - h_{Rv})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

Keterangan :

$A`_{AS}$ = Massa udara aktual (/kg bahan bakar)

t_{RA} = Suhu udara sekitar *Boiler* (°C)

h_{fg} = Entalpi suhu gas buang (kJ/kg)

h_{Rv} = Entalpi uap jenuh (kJ/kg)

Pengolahan Data

No.	Komponen	Nilai	Komposisi (% AR)
1.	Kandungan *C* (Karbon)	80	%
2.	Kandungan H_2 (Hidrogen)	4	%
3.	Kandungan *S* (Sulfur)	0,7	%
4.	Kandungan *O* (Oksigen)	14	%
5.	Kandungan *N* (Nitrogen)	1,1	%

Tabel 2. Data analisis *ultimate* batu bara.

No.	Parameter	Hasil		
		% ADB	% AR	Keterangan
1.	Total kandungan air dalam batu bara (*Total Moisture*)	-	29.30	%
2.	Kadar air bawaan batu bara (*Inherent Moisture*)	14.28	-	%
3.	Kandungan abu	4.16	3.43	%
4.	Zat yang mudah menguap (*Volatile Matter*)	41.05	33.86	%
5.	Banyaknya karbon dalam material sisa setelah zat terbang (*Fixed Carbon*)	40.51	33.41	%
6.	Total sulfur	0.64	0.53	%
7.	*Gross Calorific Value* (GCV)	5853	4827	kkal/kg

Tabel 3. Data analisis *proximate* batu bara.

Analisa Water Tube Boiler CFB (Circulating Fluidized Bed) kapasitas 50 ton

- Tahap 1 : Menghitung Kebutuhan udara teoritis

$$A'_\theta = 11{,}6\,C + 34{,}8\,(H_2 - \frac{O_2}{8}) + 4{,}35\,S$$

$$= 11{,}6 \times 80 + 34{,}8 \times (4 - \frac{14}{8}) + 4{,}35 \times 0{,}4$$

$$= 928 + 78{,}3 + 1{,}74$$

$$= 1008{,}04\ kg\ udara/kg\ bahan\ bakar$$

- Tahap 2 : Menghitung persen udara berlebih (*Excess Air*)

$$A'_X = \frac{A'_\theta - W_{A'}}{A'_\theta} \times 100\ \%$$

$$= \frac{1008{,}04 - 111{,}96}{1008{,}04} \times 100\ \%$$

$$= 0{,}888933\ (dibulatkan)$$

$$= 0{,}89\ \%$$

Sebelum menghitung persentase udara berlebih (*Excess Air*), terlebih dahulu mencari nilai $W_{A'}$ (Massa udara kering /kg bahan bakar), berikut rumus serta perhitungannya :

$$W_{A'} = \frac{W_{G'N_2} - N}{0{,}7685}$$

$$= \frac{(3{,}11 \times 28{,}02) - 1{,}1}{0{,}7685}$$

$= 111{,}96122\ (dibulatkan)$

$= 111{,}96$ kg udara/kg bahan bakar

- Tahap 3 : Menghitung massa udara sebenarnya (*Actual Air Supplier*)

$$A'_{AS} = \frac{1 + A'_{\theta}}{A'_X} \times 100$$

$$= \frac{1 + 1008{,}04}{0{,}89} \times 100$$

$= 113375{,}2809\ (dibulatkan)$

$= 113375{,}3$ kg udara/kg bahan bakar

Pembahasan

Udara teoritis yang diperlukan dan jumlah massa udara sebenarnya dapat berpengaruh pada persentase udara berlebih. Dalam hasil perhitungan diatas, jumlah persentase udara berlebih yang diperoleh sebesar 0,89% berpengaruh pada jumlah kebutuhan udara teoritis sebesar 1008,04 kg udara/kg bahan bakar dan jumlah massa udara sebenarnya sebesar 113375,3 kg udara/kg bahan bakar. Artinya, dari jumlah massa udara yang sebenarnya terhadap jumlah kebutuhan udara teoritis memiliki jumlah udara yang berlebih. Hal itu, dapat berdampak pada efisiensi dari boiler tersebut.

Memperhitungkan Keseluruhan Ke-Hilangan Panas

Persentase Kehilangan Panas dalam Gas Buang Kering

$$L_{G'} = \frac{W_{G'} \times C_{pG'}(t_G - t_{RA})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

$$= \frac{3{,}11 \times 0{,}48 \times (136 - 33)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{3{,}11 \times 0{,}48 \times (103)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{3{,}11 \times 49{,}44}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{153{,}7584}{4827} \times 100\ \%$$

$= 0{,}031\ \%$

Pembahasan :

Hasil dari kehilangan panas dalam gas buang kering yakni sebesar 0,031%, hasil ini membuktikan bahwa massa gas buang sebesar 3,11 /kg udara kering memiliki persentase kehilangan panas dalam gas buang kering sebesar 0,031%. Artinya, minim-nya persentase kehilangan panas dalam gas buang kering.

Persentase Kehilangan Panas karena Kandungan Air dalam Bahan Bakar

$$L_{mf} = \frac{m_f \times (t_G - t_{RA})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

$$= \frac{29.30 \times (136 - 33)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{29.30 \times (103)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{3017{,}9}{4827} \times 100\ \%$$

$= 0{,}625\ \%$

Pembahasan :

Hasil dari kehilangan panas karena kan-dungan air dari bahan bakar yakni sebe-sar 0,625%, hasil ini membuktikan bah-wa total kadar air dalam bahan bakar sebelum masuk diproses sebesar 29,30% dan setelah terjadinya pembakaran, masih ada kehilangan panas karena kadar air dalam bahan bakar yakni sebesar 0,625%. Hal tersebut, sedikit ber-pengaruh terhadap efisiensi boiler.

Persentase Kehilangan Panas karena Kelembaban dari pembakaran Hidro-gen

$$L_H = \frac{8{,}936 \times H_2\ (h_{fg} - h_{Rw})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

$$= \frac{8{,}936 \times 4\ (2757 - 602.04)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{8{,}936 \times 4\,(2154{,}96)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{35{,}744 \times (2154{,}96)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= \frac{35{,}744 \times (2154{,}96)}{4827} \times 100\ \%$$

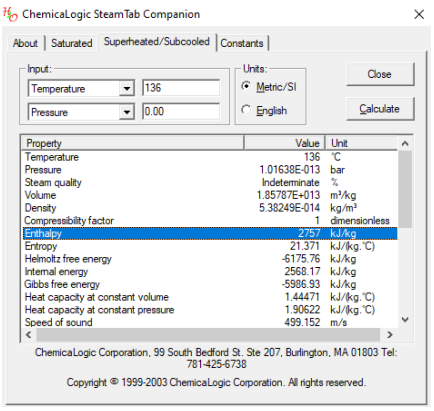
= 15,95751 (dibulatkan)

= 16 %

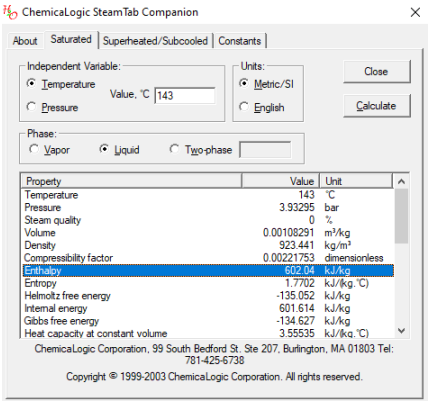
Pembahasan :

Hasil dari kehilangan panas karena kelembaban dalam pembakaran hidrogen yakni sebesar 16%, menurut (government of canada, 2015), menjelaskan kerugian yang signifikan dari kelembaban dalam pembakaran hidrogen yakni sebesar 11%, artinya semakin tinggi persentase kelembaban dalam pembakaran hidrogen maka membuat efisiensi boiler juga menurun.

- Tahapan mencari nilai Entalpi menggunakan aplikasi *ChemicaLogic Steamtab*



(a) Entalpi suhu gas buang.



(b) Entalpi uap air.

Kita hanya perlu memasukan nilai rata-rata *temperature* dan tekanan selama *boiler* beroperasi, kemudian nilai tersebut akan otomatis terlihat pada kolom dibawahnya. Ubah terlebih dahulu satuan data ke dalam satuan yang digunakan dalam aplikasi. (*Sumber* : www.chemicalogic.com).

Persentase Kehilangan Panas karena Kelembaban dalam Udara

$$L_{mA} = \frac{A'_{AS} \times t_{RA} (h_{fg} - h_{Rv})}{GCV\ Bahan\ Bakar} \times 100\ \%$$

$$= \frac{27{,}8 \times 33\ (2757 - 2737.28)}{4827} \times 100\ \%$$

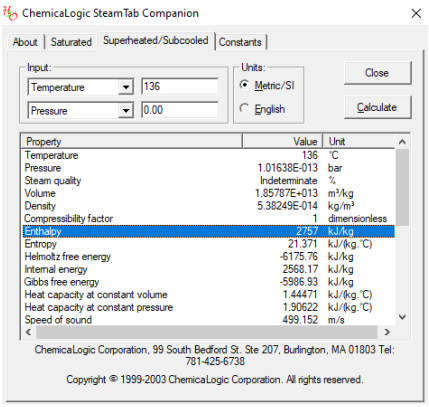
$$= \frac{917{,}4 \times (19{,}72)}{4827} \times 100\ \%$$

$$= 3{,}74\ \%$$

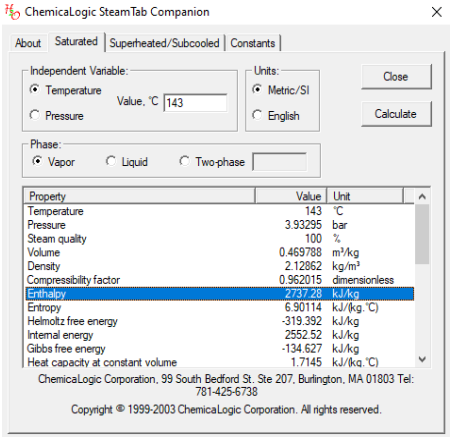
Pembahasan :

Hasil dari kehilangan panas karena kelembaban dalam udara yakni sebesar 3,74%, hasil ini membuktikan bahwa kelembaban udara secara aktual sebesar 7,33 /kg udara memiliki persentase kehilangan panas karena kelembaban da-lam udara sebesar 3,74%. Artinya, faktor tersebut dapat disebabkan oleh faktor lingkungan dan juga berpengaruh terhadap efisiensi boiler.

- Tahapan mencari nilai Entalpi menggunakan aplikasi *ChemicaLogic Steamtab*



(a) Entalpi suhu gas buang.



(b) Entalpi uap jenuh.

Sama seperti yang sebelumnya, kita hanya perlu memasukan nilai rata-rata *temperature* dan tekanan selama *boiler* beroperasi, kemudian nilai tersebut akan otomatis terlihat pada kolom dibawahnya. Ubah terlebih dahulu satuan data ke dalam satuan yang digunakan dalam aplikasi. (*Sumber* : www.chemicalogic.com).

Menghitung Efisiensi Boiler dengan hasil seluruh Persentase Kehilangan Panas

$$L = 100 - (L_{G'} + L_{mf} + L_H + L_{mA})$$

$$= 100 - (0{,}031 + 0{,}625 + 16 + 3{,}74)$$

$$= 100 - 20{,}396 = 79{,}6\ \%$$

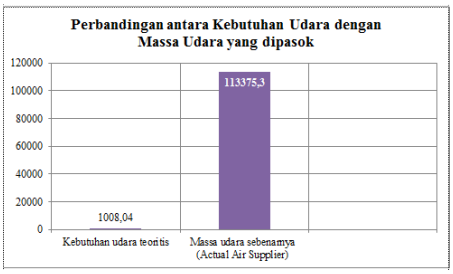
Pembahasan :

Nilai efisiensi boiler dengan metode ke-hilangan panas didapat sebesar 79,6%, nilai tersebut berasal dari hasil perhitungan ke-hilangan panas dalam gas buang kering, ke-hilangan panas kandungan air dalam bahan bakar, kehilangan panas karena kelembaban dari pembakaran hidrogen, kehilangan panas karena kelembaban dalam udara. Kemudian, dikurangkan dengan nilai 100% dan dari segi spesifikasi pabrik boiler, nilai efisiensinya sebesar 88% dan selama tahun 2014 beroperasinya boiler tersebut sampai dengan sekarang mengalami penurunan efisiensi sebesar 8,4% dan dengan hal ini, boiler tersebut di kategorikan masih tetap kondisi baik selama pengoperasiannya.

Evaluasi Hasil dan Pembahasan

No.	Deskripsi	Satuan	Nilai (%)
1.	*Kebutuhan Udara Teoritis*	kg udara/kg bahan bakar	1008,04
2.	*Persen Udara Berlebih (Excess Air)*	%	0,89
3.	*Massa Udara Sebenarnya (Actual Air Supplier)*	kg udara/kg bahan bakar	113375,3
4.	*Persentase Kehilangan Panas dalam Gas Buang Kering*	%	0,031
5.	*Persentase Kehilangan Panas karena Kandungan Air dari Bahan Bakar*	%	0,625
6.	*Persentase Kehilangan Panas karena kelembaban dari pembakaran Hidrogen*	%	16
7.	*Persentase Kehilangan Panas karena Kelembaban di Udara*	%	3,74
8.	*Efisiensi Boiler dengan hasil seluruh Persentase Kehilangan Panas*	%	79,6

Tabel 4. Hasil perkiraan kehilangan panas.



Gambar 2. Grafik perbandingan kebutuhan udara dengan massa udara.

KESIMPULAN

Hasil analisa yang telah dilakukan pada efisiensi ketel uap (*boiler*) pipa air, dapat disimpulkan yaitu :

1. Hasil analisa efisiensi *boiler* dengan metode kehilangan panas yang didapatkan yakni sebesar 79,6%.

2. Efisiensi *boiler* tidak mencapai nilai yang ada di spesifikasi pabrik *boiler*, sebesar 88%.
3. Beroperasinya *boiler* tersebut dari tahun 2014 hingga sekarang dan mengalami penurunan efisiensi sebesar 8,4% yang disebabkan dari faktor-faktor kehilangan panas yang terjadi, yakni kehilangan panas dalam gas buang kering, kehilangan panas karena kandungan air dalam bahan bakar, kehilangan panas karena kelembaban dalam pembakaran hidrogen dan kehilangan panas karena kelembaban di udara.

SARAN

1. Dibutuhkan pembanding terhadap analisa efisiensi *boiler* antara metode kehilangan panas dengan metode input-output

2. Dalam penelitian ini, terdapat data-data yang masih kurang dalam analisa dengan metode kehilangan panas dan diharapkan juga, untuk dapat ditinjau kembali dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Basu, P. (2015). *Circulating Fluidized Bed Boilers*. Canada: Springer Internasional Publishing Switzerland. 2, Jakarta.

Djokosetyardjo, I. M. (2018). *Ketel Uap.* Jakarta: PT Pradnya Paramita.

ESDM.LampungProv. (2019).

ESDM.LampungProv. (2019). *peta_penyebaran_pembangkit_listri k_di_provinsi_lampung.pdf.* Lampung

Humas EBTKE. (2023, Januari 20). *Dirjen EBTKE Paparkan Pemenuhan Kebutuhan Listrik Indonesia Melalui*