

## ANALISA SISTEM PENGERINGAN SOLAR FRUITS DRAYER TIPE INEGRATED TUNNEL

**Gunawan Hidayat<sup>1</sup>, Bambang Setiawan<sup>2</sup>**

<sup>\*12</sup>Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jakarta,

Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta 10510

\*E-mail : gunawan.hidayat@ftumj.ac.id

### ABSTRAK

Kualitas produk hasil pengujian ditentukan oleh kinerja proses pengeringan dari alat yang telah diuji coba dengan beberapa parameter. Pengujian alat pengering energi surya dilakukan guna memperoleh unjuk kerja sistem dengan kapasitas beban pengeringan, distribusi temperatur dan laju aliran udara. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kinerja alat pengering energi surya, meningkatkan efisiensi pengeringan dan menurunkan kebutuhan energi serta melakukan simulasi model alat pengeringan. Simulasi numerik menggunakan *Program Computational Fluid Dynamics model Phoenix* yang juga digunakan untuk memperoleh bentuk aliran udara dan distribusi temperatur. Pengujian alat pengering dilakukan dengan dua cara yakni pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban pisang basah. Hasil penelitian ini menunjukkan seluruh temperatur yang terdistribusi pada titik titik pengujian berfluktuasi sebanding dengan radiasi matahari. Kolektor mampu menaikkan temperatur maksimum sebesar 44,6 °C, sedangkan temperatur kolektor (absorber) sendiri mencapai 119,6 °C. Semakin besar rata rata radiasi matahari harian selama pengujian, maka waktu pengeringan semakin singkat. Terjadi penurunan temperatur yang cukup besar antara temperatur yang cukup besar antara temperatur keluar kolektor dengan temperatur masuk ruang pengering, dimana pada bagian ini terdapat fan

**Keyword :** Integrated tunnel solar dryer, Pengeringan, CFD, Absorber

### ABSTRACT

*quality test results are determined by the performance of the drying process of the tool has been tested by several parameters. Tests conducted drier solar energy in order to obtain system performance with a load capacity of drying, the temperature distribution and airflow rate. This study aims to get solar energy performance of the dryer, increasing drying efficiency and lowering energy requirements and conduct a simulation model of a drying apparatus. Numerical simulations using Computational Fluid Dynamics Program Phoenix models are also used to obtain the shape of the air flow and temperature distribution. Testing drier done in two ways ie without load testing and load testing with wet banana. The results of this study indicate that a distributed throughout the temperature at the point of testing points fluctuate in proportion to solar radiation. Collectors were able to raise the maximum temperature of 44.6 °C, while the temperature of the collector (absorber) alone reached 119.6 °C. The greater the average daily solar radiation during the test, the drying time is getting short. There was a decrease of temperature big enough between temperature big enough between the exit temperature collector with inlet temperature drying chamber, which in turn are fan*

*Keyword: Integrated solar tunnel dryer, Drying, CFD, Absorber*

## PENDAHULUAN

### Pendahuluan

Pemanfaatan energi surya (solar energy) untuk proses pengeringan di kawasan tropis menjadi sumber energi yang melimpah dan abadi. Namun demikian, tanpa adanya suplai sinar matahari yang cukup akan menjadi kendala tersendiri utamanya bagi proses pengeringan hasil panen atau hasil tangkapan laut. Sebagai salah satu sumber energi yang terbarukan (renewable energy), energi surya adalah salah satu isu yang selalu menarik dikaji lewat pengembangan teknologi pengeringan.

Penggunaan alat pengering energi surya (solar drayer) sebagai cara mengoptimalkan penggunaan sinar matahari bagi proses pengeringan. Cara ini merupakan upaya pemanfaatan energi surya dengan cara mengkonversi sinar matahari menjadi energi panas dilakukan dengan menggunakan kolektor panas. Solar drayer dalam hal ini dimaksudkan untuk menjaga kestabilan temperatur, disamping kualitas komoditi yang dikeringkan.

Prinsip pengeringan pada dasarnya adalah cara mengelurakan atau menghilangkan sebagian kandungan air dalam material sampai pada batas tertentu yang diinginkan dengan menggunakan energi kalor. Brooker et al (1974) menyatakan bahwa dalam proses pengeringan terjadi transfer panas dan massa secara simultan. Pada saat bahan dikeringkan terjadi dua proses secara bersamaan yaitu : (1) perpindahan energi dalam bentuk panas dari lingkungan untuk penguapan air pada permukaan bahan, (2) perpindahan air di dalam bahan ke permukaan sebagai akibat dari penguapan pada proses pertama. Sementara itu, Geankoplis (1983), menggambarkan pengeringan sebagai suatu proses perpindahan air secara termal untuk menghasilkan produk kering. Proses pengeringan sendiri terbagi dalam dua periode yaitu laju pengeringan konstan

(*drying in the constan rate period*) dan laju pengeringan menurun (*drying in falling rate period*).

Penelitian ini difokuskan pada pembahasan kemampuan alat pengeringan surya tipe integrated tunnel, utamanya kemampuan pengeringan secara menyeluruh berdasarkan kapasitas pengeringan yang ditentukan, kebutuhan energi untuk pengeringan, lama pengeringan, distribusi temperatur dan kualitas produk serta kemampuan menurunkan kandungan air dalam bahan yang dikeringkan.

### Studi Pustaka

Penentuan kebutuhan energi pengeringan

Kesetimbangan energi dan massa pada proses pengeringan

Persamaan energi diberikan pada persamaan (1) hingga (3)

$$m_1 h_1 + m_w h_w = m_2 h_2 + Q \dots\dots(1)$$

$$m_1 W_1 + m_w = m_2 W_2 \text{ dan } m_1 = m_2 = m \dots\dots\dots(2)$$

$$m_w = m(W_2 - W_1) \dots\dots\dots(3)$$

Notasi :

$m_1, m_2$  = massa udara masuk dan keluar, (kg udara kering/jam)

$w_1, w_2$  = rasio kelembabab udara masuk dan keluar (kg/kg udara kering)

$h_1, h_2$  = enthalpi udara masuk dan keluar (Kj/kg)

$t_1, t_2$  = temperatur udara masuk dan keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$m_w$  = massa air yang dikeluarkan dari bahan yang dikeringkan, (kg/jam)

$h_w$  = entalphi penguapan air, (Kj/kg)

$Q$  = panas yang dibutuhkan untuk pengeringan, (Kj/jam)

Jumlah energi total ( $Q_{tot}$ ) selama pengeringan bergantung pada kadar air bahan, kadar air akhir yang diinginkan, dan massa bahan yang dikeringkan, yang digunakan untuk menaikkan temperatur bahan, menaikkan temperatur air di dalam bahan, menguapkan air bahan, dan menaikkan temperatur uap air.

Energi untuk menaikkan temperatur bahan ( $Q_k$ ),

$$Q_k = M_k \cdot C_k [T_k - T_0]$$

$$M_k = [1 - w_i]M_i \dots\dots\dots(4)$$

Notasi :

- C<sub>k</sub>=panas jenis bahan, (Kj/Kg. °C)
- M<sub>k</sub>= massa kering bahan, kg
- T<sub>k</sub>= temperatur bahan, ° C
- T<sub>o</sub> = temperatur lingkungan,
- W<sub>i</sub> = kadar air awal, (kg/kb bahan basah)
- M<sub>i</sub>= massa awal bahan kondisi basah, kg

Energi untuk menaikkan temperatur air di dalam bahan (Q<sub>m</sub>),

$$Q_m = M_m \cdot C_m (T_k - T_o) \cdot M_m = w_i \cdot M_i \dots\dots\dots(5)$$

Notasi :

- M<sub>m</sub> = massa kandungan air awal. Kg
- C<sub>m</sub> = panas jenis air, (Kj/Kg. °C)

Energi untuk menguapkan kandungan air bahan, Q<sup>e</sup>

$$Q_e = M_w \cdot h_w$$

$$M_w = M_i \cdot [w_i - w_f] / [1 - w_f] \dots\dots\dots(6)$$

Energi untuk menaikkan temperatur uap air (Q<sub>v</sub>)

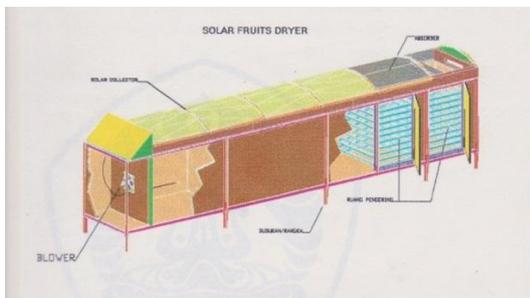
$$Q_v = M_w \cdot C_v [T_k - T_o] \dots\dots\dots(7)$$

Notasi :

- C<sub>v</sub> = panas jenis uap, Kj/Kg. °C

Dengan demikian, energi totalnya adalah

$$Q_{tot} = Q_k + Q_m + Q_e + Q_v \dots\dots\dots(8)$$

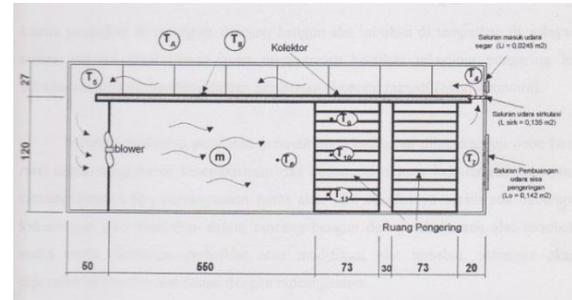


Gambar 1 : Protipe Hasil Perancangan

**Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, pembuatan dan pengujian prototype alat pengering secara langsung di laboratorium. Perancangan alat pengering berdasarkan kapasitas dan volume yang direncanakan.

Rancang bangun ini juga mempertimbangkan survei lapangan atas penggunaan teknologi pengeringan baik berupa teknologi penjemuran langsung, sistem pengeringan buatan, serta sistem pengeringan hibrida. Setelah itu dibuat prototype dan kemudian dilakukan perakitan.



Gambar 2 : titik-titik Pengukuran

Dari prototype solar drayer ini selanjutnya dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan dengan dua tahapan., yakni tahap pertama, pengujian tanpa komoditi guna memperoleh kemampuan dasar alat tanpa pembebanan. Dengan begitu akan diketahui performance dari alat pengering tersebut dan akan diketahui pula bila ada kebocoran-kebocoran dalam sistem pengisolasian, kesempurnaan aliran udara yang menyangkut distribusi temperatur pada lorong (ducting), maupun distribusi temperatur pada ruang rak-rak (billet) pengering. Tahap kedua, dilakukan dengan pembebanan dari komoditi yang dikeringkan. Pengukuran pada pengujian ini dengan mengambil data-data yang didasarkan atas titik-titik pengukuran yang ditentukan. Kemudian data-data tersebut dilakukan pengolahan data, perhitungan, analisa serta akhirnya diambil kesimpulan akhir atas hiotesa yang dibuat sebelumnya.

**Hasil pengujian dan Pembahasan**

Hasil pengujian prototype pengering tenaga surya (solar fruit dryer) tanpa menggunakan beban pengeringan adalah sebagai berikut :

Kolektor dengan luas 7 m<sup>2</sup> mampu menaikkan temperatur tertinggi sebesar ± 42 ° C , yaitu pad T<sub>5</sub> = 76.7 ° C , T<sub>amb</sub> = 34.2 ° C , pada radiasi ( I<sub>sol</sub>) = 805,2 watt/m<sup>2</sup>, terjadi pada jam 11.40 wib , dengan laju udara berkisar 0,146 m<sup>3</sup>/s dan humadity = 30,1 .

Pengujian dengan menggunakan beban buah, distribusi temperatur di dalam sistem berfluktuasi seperti pada pengujian tanpa

beban, yaitu seluruh temperatur di titik-titik pengukuran berfluktuasi sebanding dengan fluktuasi dari radiasi matahari.

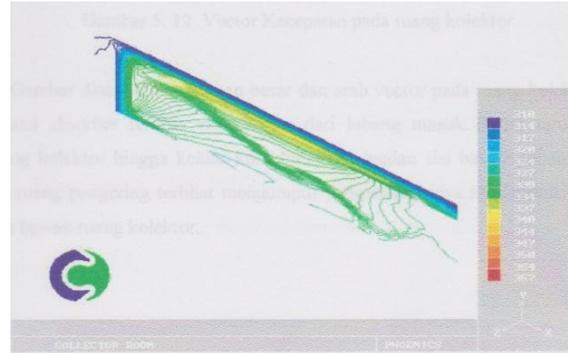
Hasil dari pengujian dengan beban didapat bahwa kolektor mampu menaikkan temperatur tertinggi sebesar kurang dari 42 °C, yaitu pada  $T_5 = 78,3\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{amb}} = 35,9\text{ }^\circ\text{C}$ , pada radiasi ( $I_{\text{sol}}$ ) = 855,5 watt/m<sup>2</sup>, terjadi pada jam 12.40, dengan laju aliran udara berkisar 0,415 m<sup>3</sup>/s. Pada pengujian ini dibutuhkan waktu 18 jam untuk pengeringan 51 kg buah pisang basah dengan kadar air 73,89 % menjadi 20 kg pisang kering dengan radiasi rata-rata sebesar = 595,42 watt/m<sup>2</sup>.

### Simulasi Hasil Pengujian

Problem fisik dipertimbangkan sebagai tiga dimensi, skala penuh dua zone dengan ukuran luasan (panjang, tinggi, dan lebar) = 7 x 1,5 x 1,2 m<sup>3</sup>, yang mempunyai geometri yang mendekati sama dengan eksperimen. Ruang dibagi menjadi dua zone menggunakan partisi dengan bukaan. Bukaan pada tengah ruangan berjarak 6,5 m dari lubang keluar dan mempunyai ukuran 0,4 x 0,4 m<sup>2</sup>. Ventilasi udara memmasuki ruangan kolektor dengan luasan 0,3 x 1,2 m<sup>2</sup>. Bagian exhaust terletak pada bagian bawah satu bangun dengan ruang pengering dengan luasan 0,08 x 1 m<sup>2</sup>. Kecepatan udara masuk (inlet) 1,2 m/s pada temperatur ambient 35 C. Dinding atas dari bahan polikarbonat diasumsikan sebagai dinding dengan temperatur 105 C. Sumber panas matahari (radiasi) dengan heat flux surface 600 W/m<sup>2</sup> yang diberikan pada permukaan absorber (kolektor). Kecepatan udara masuk ruang pengering (ext-1) sebesar 1,7 m/s dengan temperatur 50 C. Dinding atas ruang pengering diberikan panas 105 C. Karena sistem pengering ini adalah terintegrasi sehingga dinding memberikan panas baik diruang kolektor maupun ruang pengering.

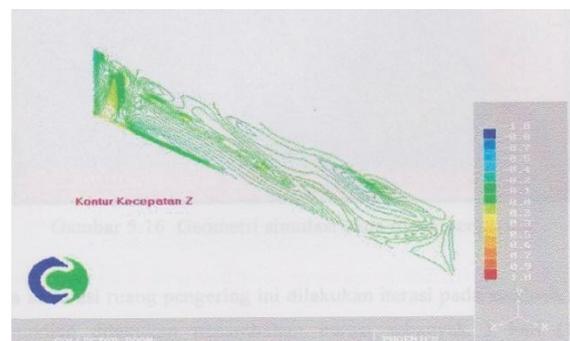
Dalam ruang pengering diberikan 8 rak pengering dengan ketebalan masing-masing 0,04 x 0,35 m<sup>2</sup> dengan susunan berjajar sebagaimana gambar 1.

### Simulasi Ruang Kolektor.



Gambar 3 : Kontur distribusi temperatur pada ruang kolektor

Temperatur terdistribusi hampir merata sepanjang ruang kolektor. Seperti terlihat, temperatur paling tinggi berada pada bagian tengah ruang kolektor bagian bawah. Hal ini disebabkan oleh laju udaramasuk, juga oleh pembangkitan panas dari dinding absorber akibat flux kalor yang diberikan pada bidang ini. Pada sisi kanan gambar terlihat bahwa pada dinding yang adiabatik, temperatur lebih rendah dibandingkan pada sisi dinding tengah (internal partition). Temperatur mengalir keluar dari lubang dengan tekanan atmosfer, tampak setahap demi setahap menurun sepanjang ruang pengering. Indikator temperatur ditunjukkan oleh gambar pada bagian kanan (°K)

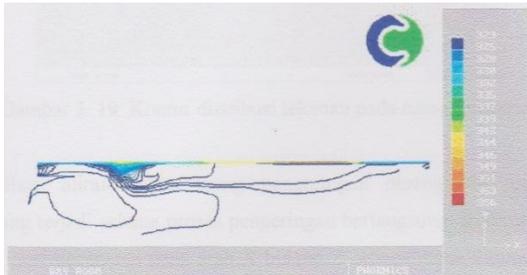


Gambar 4 : kontur distribusi kecepatan Z pada ruang kolektor

Distribusi pada bagian ini memperlihatkan penumpukan kecepatan pada bagian keluar dari kolektor, distribusi kecepatan keluar dari exhaust, kemudian menyebar sepanjang ruang pengering. Pada bibir keluaran exhaust terlihat mengumpul diakibatkan sempitnya lubang keluar dan kemudian menyebar pada dimensi ruang yang tiba-tiba meluas.

## Simulasi Ruang Pengering

Simulasi ruang pengering dilakukan iterasi pada awalnya 300 iterasi. Kemudian dilakukan penambahan iterasi sebanyak 3 kali (100 iterasi) sehingga dicapai kondisi distribusi yang konvergen pada ruang pengering.



Gambar 5: Kontur distribusi temperatur dalam ruang pengering

Temperatur dalam ruang pengering memperlihatkan temperatur tertinggi pada sisi atas ruang pengering. Hal ini disebabkan oleh dinding pada bagian atas ruang pengering diberi sumber panas  $105^{\circ}\text{C}$ , dan temperatur tertinggi mengalir pada sisi paling atas. Distribusi temperatur saat masuk ruang pengering terlihat mengalir dan mengumpul pada tempat tertentu dalam ruang pengering. Selanjutnya mengalir menuju lubang keluar pada sisi ujung paling atas setelah melewati rak-rak yang ada pada ruangan.

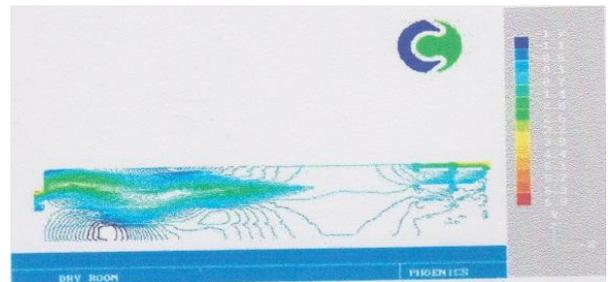


Gambar 6 : Kontur distribusi tekanan pada ruang pengering

Terlihat kontur distribusi tekanan saat keluar dari lubang masuk ruang pengering yang cukup kuat akibat tekanan sempit saluran masuk.

selanjutnya tekanan terdistribusi sepanjang dimensi ruang pengering yang luas sehingga cenderung mengecil dan rata pada bagian tertentu sebelum menumbuk rak-rak pengering. Pada saat menuju lubang keluar setelah melewati antar ruang dari rak-rak pengering, tekanan menjadi lebih kuat dan mengumpul sebelum keluar saluran exhaust

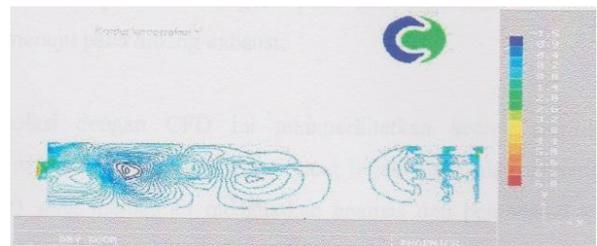
Distribusi aliran dalam ruang pengering dipengaruhi juga oleh arah kecepatan yang terjadi selama proses pengeringan berlangsung. Berikut ini fenomena tentang distribusi kecepatan pada arah X dan Z sebagaimana ditunjukkan gambar berikut ini ;



Gambar 7 : Kontur distribusi kecepatan X pada ruang pengering

Distribusi kecepatan X pada bidang Z yang begitu kuat saat keluar masuk ruang pengering. Kecepatan udara masuk  $1,7\text{ m/s}$  mempengaruhi bentuk distribusi yang terjadi pada ruangan disamping tekanan dan temperatur yang diberikan dalam ruangan. Secara perlahan kecepatan distribusi merata dan kemudian menguat setelah melewati rak-rak sebelum keluar menuju saluran exhaust.

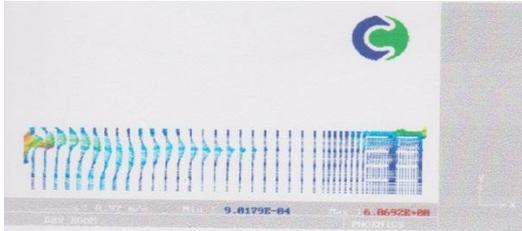
Gambaran lebih jelas berkaitan dengan distribusi arah kecepatan yang lain ditunjukkan kontur kecepatan Y pada bidang Z berikut ini ;



Gambar 8 : Kontur distribusi kecepatan Y pada ruang pengering

Distribusi kecepatan memperlihatkan saat keluar dari lubang masuk (inlet), kemudian

terjadi sirkulasi dalam ruangan yang tiba-tiba membesar yang menyebabkan fluida bersirkulasi sepanjang ruangan. Saat menumbuk bagian rak-rak pengering, arah distribusi kecepatan mengalir di celah-celah rak pengering, dan kemudian menguat sebelum keluar menuju yang lebih sempit yakni lubang exhaust.



Gambar 9 : Vektor kecepatan pada ruang pengering

Memperlihatkan bahwa pola besar dan arah vektor sepanjang ruang pengering yang cenderung kuat saat keluar dari lubang masuk (inlet). Sewaktu keluar dari bibir inlet, vektor terdistribusi sepanjang ruangan pengeringan. Selanjutnya secara perlahan mengecil pada saat mendekati rak pengering, hingga kemudian menuju pada lubang exhaust.

Simulasi dengan CFD ini memperlihatkan secara teoritik (konseptual) konservasi momentum dari pola aliran yang terjadi pada alat pengering yang membantu menguatkan analisis dan pembuatan konstruksi serta bentuk ruang yang optimal.

### Kesimpulan

Dari hasil data pengujian dan simulasi prototype solar drayer tipe lorong terpadu (integrated tunnel solar fluit drayer) dengan luas kolektor 7 m<sup>2</sup> dengan menggunakan fans berkapasitas 18 m<sup>3</sup>/menit baik tanpa beban maupun dengan beban pengeringan berupa buah pisang siam yang berbobot 50 kg dengan kadar air awal sebesar 73,3 %, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Seluruh temperatur yang terdistribusi pada titik-titik pengujian berfluktuasi sebanding dengan radiasi matahari.
2. Kolektor mampu menaikkan temperatur maksimum sebesar 44,6 °C

3. Semakin besar rata-rata radiasi matahari harian selama pengujian, maka waktu pengujian semakin singkat.
4. Terjadi penurunan temperatur yang cukup besar antara temperatur keluar kolektor dengan temperatur masuk ruang pengering, dimana pada bagian ini terdapat fan (kipas).
5. Distribusi temperatur optimal dalam sistem pengeringan alat pengering ini secara konseptual dapat dioptimalkan dengan bantuan simulasi CFD dengan model Phoenics.

### Daftar Pustaka

- K.Lutz and W. Muhlbauer, 2007. "Solar tunnel with integrated tunnel", *Journal drying technology*, vol. 4., 1986. Published online 03 April ., pp. 583-603
- Piyush S.T., SS Deshmukh, and Pratik Jain., 2016, "Design, fabrication, and performance analysis of solar tunnel drayer using various absorber materials", *IARJSET*, Vol. 3, Issue 6, June.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall, 1974 "Drying Cereal Grains" The AVI Pub.Co.,Inc., Wesport, Connecticut.
- Geankoplis, Chistie J. 2003, "Transport Processes and Unit Operations (4th edition)" Prentice Hall, New Jersey
- Anderson, John D. 1995, "Computational fluid dynamics" McGrw hill (int'l edition)., Singapore.
- Fachrizal, N., Silaban, M., dan Sumarsono, M. 1994 "Efisiensi pengering tipe kotak kombinasi energi matahari dan biomassa " makalah pada presentasi ilmiah UPT LSDE, BPPT Serpong, 8 agustus.