

Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Susu Tenaga Surya Menggunakan Sistem Kolektor Surya dan Pengukur Suhu Berbasis Sensor DS18B20 *Waterproof*

Nur Atikah-1^a, Boni P. Lapanporo-2^{a*}, Nurhasanah-3^a

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura

*Email : Boni8poro@physics.untan.ac.id

Abstrak

Telah dibuat alat pasteurisasi susu tenaga surya menggunakan sistem kolektor surya dan pengukur suhu berbasis sensor DS18B20 *waterproof*. Aplikasi pasteurisasi yang diterapkan adalah pasteurisasi metode LTLT (*Low Temperature Long Time*), yaitu proses pasteurisasi dengan memanaskan susu pada suhu 60°C-65°C yang dipertahankan minimal selama 30 menit. Perancangan alat terdiri dari perancangan kolektor surya, pelat *absorber*, dan tangki pasteurisasi kemudian dilanjutkan pada proses pembuatan alat. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan sistem pengukur suhu menggunakan sensor DS18B20 *waterproof* pada tangki pasteurisasi, kolektor surya, dan lingkungan. Data yang diambil berupa suhu pada kolektor surya, tangki pasteurisasi, dan lingkungan. Dari hasil pengujian yang dilakukan, suhu pasteurisasi yang dihasilkan oleh alat sebesar 63°C sampai 65°C. Efisiensi kolektor rata-rata sebesar 46,7% sedangkan efisiensi kolektor total sebesar 44%. Berdasarkan hasil uji fisik, susu pasteurisasi dapat bertahan selama 8 jam pada suhu ruang (28°C-32°C) dan 7 hari pada suhu pendingin ($\pm 10^\circ\text{C}$). Sedangkan berdasarkan hasil uji bakteri, nilai ALT dan koliform pada susu pasteurisasi telah memenuhi standar Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) tahun 2016 dan tidak terdapat cemaran bakteri *Escherichia coli*.

Kata Kunci : *Pasteurisasi, Susu, Kolektor Surya, Efisiensi Kolektor, Sensor DS18B20*

1. Latar Belakang

Pasteurisasi adalah proses pemanasan makanan dengan tujuan membunuh organisme merugikan seperti bakteri, protozoa, kapang, dan khamir dan untuk memperlambat pertumbuhan mikroba pada makanan. Metode pasteurisasi yang umum dilakukan pada susu ada dua cara, yaitu *Low Temperature Long Time* (LTLT) yakni pasteurisasi pada suhu rendah 61°C selama 30 menit, sedangkan metode lain yaitu *High Temperature Short Time* (HTST) yakni pemanasan pada suhu tinggi 71,7°C - 75°C selama 15 detik [1].

Pada proses pasteurisasi diperlukan suatu alat yang dapat menghasilkan panas yang stabil. Salah satu sumber energi panas yang dapat dimanfaatkan adalah energi panas matahari. Kolektor surya merupakan suatu alat yang mampu mengumpulkan energi panas matahari. Beberapa penelitian mengenai kolektor surya di antaranya pembuatan kompor energi berupa kolektor surya sederhana dan ekonomis menggunakan kaca reflektor sebagai sumber energi termal [2] dan penentuan aliran massa yang optimal bagi kolektor surya pelat datar [3]. Setelah panas terkumpul pada kolektor surya maka panas tersebut perlu ditransferkan ke aliran susu melalui pelat absorber. Penelitian mengenai pelat absorber yang telah dilakukan di antaranya solar water berupa kolektor surya pelat datar dengan penggunaan alur zig-zag dan *turbulence enhancer* dengan geometri persegi

panjang [4] dan pembuatan kolektor surya menggunakan pelat absorber berbahan seng sebagai penghasil panas pada pengering produk pertanian dan perkebunan [5].

Selain itu, pada proses pasteurisasi juga diperlukan suatu perangkat untuk mengamati suhu pada tangki pasteurisasi. Salah satu pengukur suhu yang banyak digunakan adalah sensor DS18B20 *waterproof*. Beberapa penelitian terkait penggunaan sensor DS18B20 *waterproof* yaitu pengukuran suhu air menggunakan sensor DS18B20 *waterproof* pada pengujian karakterisasi air [6] dan sistem pengukur suhu tanah menggunakan sensor DS18B20 *waterproof* [7].

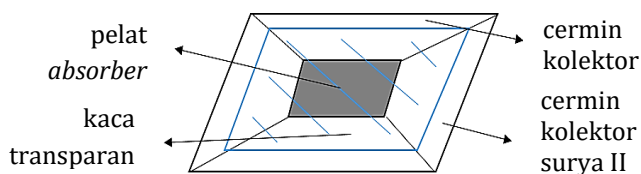
Dalam penelitian ini, dibuat alat pasteurisasi berbasis tenaga surya menggunakan sistem kolektor surya dengan metode pasteurisasi LTLT. Pada alat, panas dari kolektor surya dikumpulkan di pelat *absorber* dan ditransfer ke aliran susu melalui aliran zig-zag di bawah pelat, sehingga alat pasteurisasi ini dapat menghasilkan suhu yang sesuai untuk proses pasteurisasi. Selain itu, pada alat pasteurisasi juga dilengkapi dengan sistem pengukur suhu sensor DS18B20 berbasis arduino uno. Kelebihan alat pasteurisasi ini adalah sumber panas yang digunakan pada proses pasteurisasi sebagian besar berasal dari energi surya.

2. Metodologi

2.1 Perancangan Komponen-komponen Alat

2.1.1 Kolektor Surya

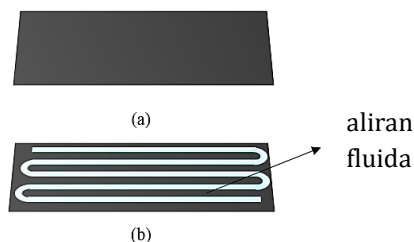
Kolektor surya dibuat untuk mengumpulkan energi panas sinar matahari melalui pantulan-pantulan cermin pada sisi-sisi kolektor. Kolektor surya dibuat berbentuk prisma terbalik. Kemudian pada sisi-sisinya disusun cermin berbentuk trapesium sebanyak 4 buah, lalu pada bagian atas dipasang kaca transparan sebagai pemberi efek rumah kaca. Bahan konduktor dipasang pada bagian bawah kolektor (pelat *absorber*) sebagai penyerap panas sinar matahari untuk ditransferkan ke aliran susu. Rancangan kolektor surya dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan Kolektor Surya

2.1.2 Pelat Absorber

Pelat *absorber* dibuat untuk mentransferkan energi panas yang telah dikumpulkan oleh kolektor surya ke aliran susu yang mengalir di dalam pelat. Pelat dibuat berbentuk persegi panjang dimana pada bagian dalam pelat terdapat tempat aliran susu berbentuk zig-zag. Aliran zig-zag berfungsi agar penyerapan panas oleh aliran susu menjadi lebih efisien. Selain itu, pelat *absorber* juga dicat dengan warna hitam agar penyerapan panas matahari menjadi lebih maksimal. Bahan yang digunakan pada pelat adalah bahan kuningan. Rancangan pelat *absorber* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

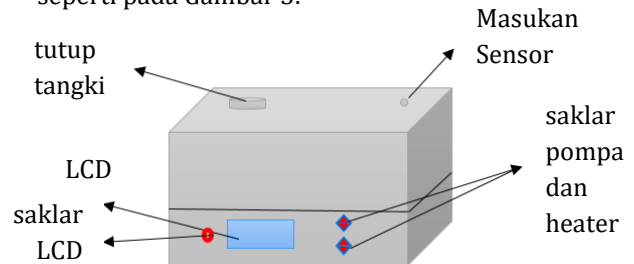


Gambar 2 Rancangan Pelat Absorber (a) pelat bagian atas (b) pelat bagian bawah

2.1.3 Tangki Pasteurisasi

Tangki pasteurisasi dibuat untuk menyimpan susu sekaligus sebagai tempat terjadinya proses pasteurisasi. Kerangka tangki pasteurisasi terbuat dari bahan *stainless steel*. Pada perancangan, dibuat tangki pasteurisasi dengan sistem tertutup. Tangki dilengkapi dengan bahan isolator pada sisi-sisinya agar panas dari tangki tidak mudah keluar ke

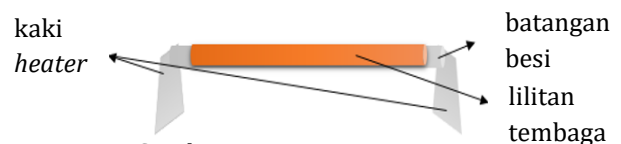
lingkungan. Selain itu, tangki pasteurisasi juga dihubungkan ke pompa sirkulasi sehingga susu dapat dialirkan dari tangki pasteurisasi ke pelat *absorber*. Sensor suhu DS18B20 *waterproof* juga dipasang pada bagian badan tangki pasteurisasi. Rancangan tangki pasteurisasi dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Rancangan Tangki Pasteurisasi

2.1.4 Heater

Heater dibuat untuk menstabilkan panas ketika cuaca seketika berawan agar susu tetap mencapai suhu pasteurisasi. *Heater* terbuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada suatu batangan besi berongga. Kemudian pada bagian ujung-ujungnya diberi sumber arus DC. Ketika lilitan tembaga dialiri arus maka menimbulkan panas, panas inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan aliran susu yang melewati bagian dalam besi berongga. Selain itu pada bagian luar *heater* dipasang bahan isolator agar panas dari lilitan tembaga tidak mudah keluar ke lingkungan. Bagian saklar dipasang pada badan tangki pasteurisasi agar lebih mudah dalam menghidupkan *heater*. *Heater* diletakkan pada ruang di bawah tangki pasteurisasi. Rancangan *heater* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.

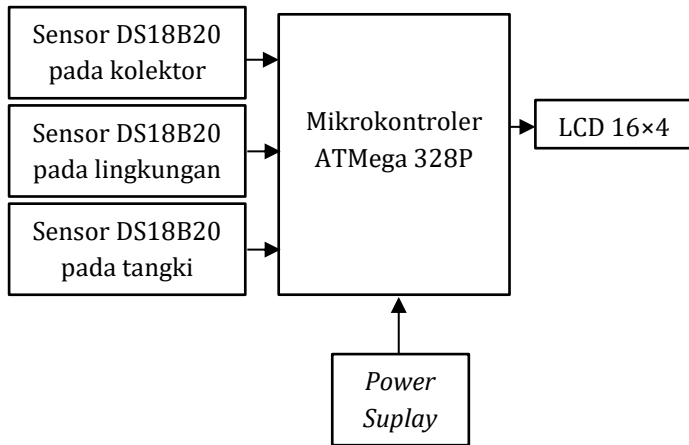


Gambar 4 Rancangan Heater

2.2 Perancangan Sistem Pengukur Suhu

Sistem pengukur suhu dibuat untuk menampilkan suhu pada saat proses pasteurisasi. Pengukur suhu yang digunakan berupa sensor DS18B20 *waterproof* yang dihubungkan pada modul arduino uno. Agar sistem dapat beroperasi dengan baik, diperlukan *coding* program Arduino IDE yang akan dimasukkan ke dalam mikrokontroler untuk menjalankan perintah-perintah yang dibuat. Pemrograman sistem pengukur suhu ini dirancang agar dapat menghasilkan nilai suhu dalam satuan celcius ($^{\circ}\text{C}$). Sensor DS18B20 *waterproof* dipasang pada tiga tempat yaitu, pada tangki pasteurisasi, kolektor surya, dan lingkungan. Ketiga suhu ini akan ditampilkan pada LCD sehingga memudahkan dalam

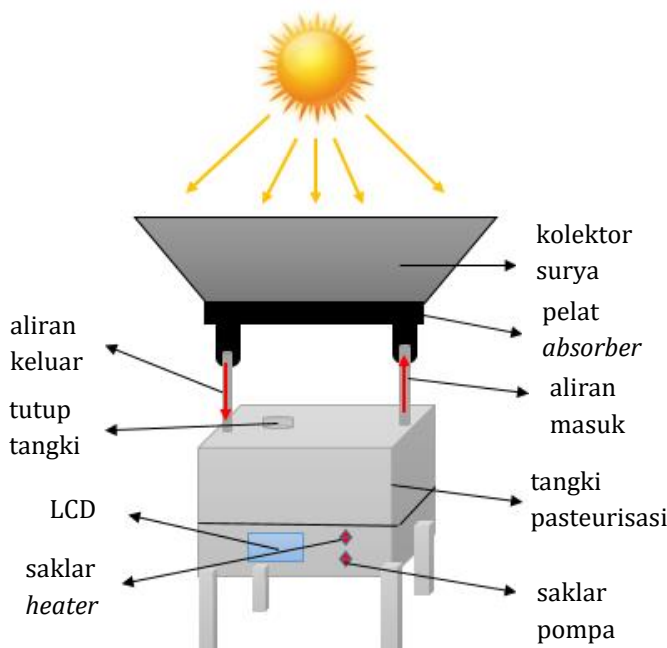
pembacaan suhu pada tiga tempat sekaligus. Agar proses pembuatan sistem pengukur suhu dapat berjalan lancar maka dibuatlah diagram blok sistem. Diagram blok sistem yang menjadi rancangan dalam pembuatan sistem pengukur suhu dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Blok Sistem Pengukur Suhu

2.3 Sistematika Alat

Pemakaian alat pasteurisasi dilakukan di luar lingkungan karena alat pasteurisasi memanfaatkan panas sinar matahari. Sistematika pemakaian alat pasteurisasi tenaga surya dapat dilihat seperti pada gambar 6



Gambar 6 Sistematika Alat

Pada gambar 6, sistematika alat yaitu mula-mula alat pasteurisasi ditempatkan pada lingkungan terbuka dan kolektor surya diarahkan ke arah datangnya cahaya matahari menggunakan lensa cembung. Kemudian apabila panas matahari telah terfokus pada bagian bawah kolektor

(pelat *absorber*) maka lensa cembung dilepas dari kolektor. Setelah itu, susu sapi segar dimasukkan ke dalam tangki pasteurisasi. Setelah suhu kolektor cukup panas, selanjutnya pompa sirkulasi dihidupkan sehingga aliran susu akan mengalir dari tangki pasteurisasi ke pelat *absorber*. Saat suhu tangki pasteurisasi mencapai suhu 60°C-65°C selama kurang lebih 30 menit, maka proses pasteurisasi selesai. Susu dapat dikeluarkan dari tangki pasteurisasi melalui keran.

2.4 Pengujian Alat

2.4.1 Pengujian LCD

Pengujian LCD dilakukan dengan input *coding* Arduino IDE ke modul arduino uno. Kemudian LCD dihubungkan ke modul arduino. Indikator keberhasilan yang berpengaruh dalam pengujian adalah apabila LCD dapat menampilkan informasi seperti yang diprogramkan. Perintah yang diberikan pada mikrokontroler adalah menampilkan suhu pada lingkungan, kolektor surya, dan tangki pasteurisasi.

2.4.2 Pengujian Sensor DS18B20

Pengujian sensor DS18B20 bertujuan untuk membandingkan pembacaan suhu pada sensor DS18B20 *waterproof* dan termometer air raksa. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu air mendidih secara bersamaan kemudian dilihat grafik pembacaan suhu pada 3 sensor dan termometer. Pengujian dilakukan setiap 5 menit dimulai dari suhu didih air (100°C) hingga air mencapai suhu ruang (32°C).

2.4.3 Pengujian Alat Pasteurisasi

Pengujian alat pasteurisasi dilakukan dengan dua cara. Pengujian pertama yaitu mengukur suhu lingkungan, kolektor surya, dan tangki pasteurisasi setiap 15 menit sekali. Pengujian pertama bertujuan untuk melihat performa alat pasteurisasi. Kemudian dilakukan pengujian kedua yaitu mengukur suhu tangki setiap 1 menit sekali ketika suhu pada tangki telah mencapai suhu pasteurisasi (60°C – 65°C). Pengujian kedua dilakukan lebih kurang selama 30 menit. Pengujian kedua bertujuan untuk mengetahui nilai kestabilan suhu pada saat proses pasteurisasi berlangsung.

2.4.4 Pengujian Efisiensi Kolektor

Pengujian efisiensi kolektor dilakukan dengan membandingkan energi yang digunakan pada kolektor dan energi radiasi matahari yang diterima oleh kolektor. Data yang diambil adalah data berupa temperatur fluida masuk kolektor (T_{fi}), temperatur fluida keluar kolektor (T_{fo}), dan intensitas radiasi matahari total (I_T). Data

temperatur fluida masuk dan keluar kolektor diambil setiap 15 menit. Selain itu juga dilakukan pengukuran luasan kolektor surya (A_c) untuk menangkap intensitas radiasi matahari. Persamaan yang digunakan untuk menentukan efisiensi kolektor adalah

$$\eta = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_{fo} - T_{fi})}{A_c \cdot I_T} \quad (1)$$

Dimana m adalah massa susu dan c_p adalah panas jenis susu sapi murni. Panas jenis susu diukur dengan menggunakan kalorimeter. I_T adalah data intensitas radiasi matahari yang didapatkan dari Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Pontianak. Setelah dilakukan pengambilan data maka akan diolah data efisiensi kolektor.

2.4.5 Pengujian Kualitas Susu

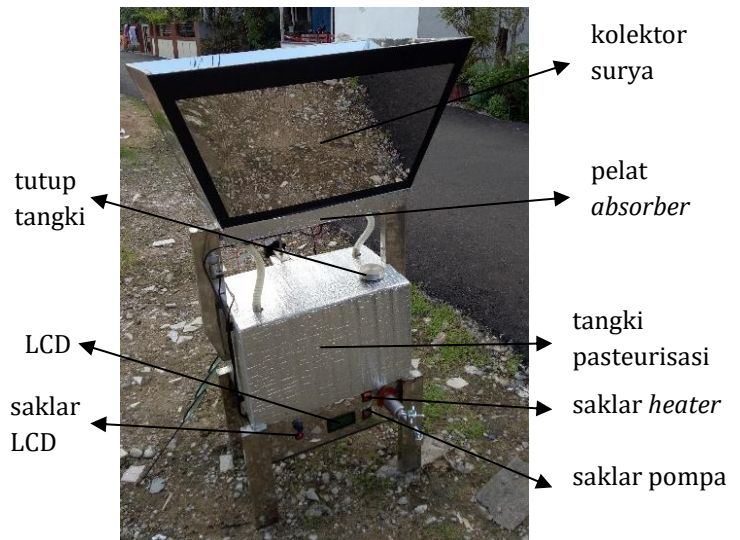
Pengujian kualitas susu dibagi menjadi dua yaitu, uji fisik dan uji bakteri. Uji fisik pada susu bertujuan untuk mengetahui ketahanan kualitas susu dilihat dari segi fisiknya. Uji fisik dilakukan pada dua keadaan suhu yaitu di suhu ruang ($28^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}$) dan suhu pendingin ($\pm 10^\circ\text{C}$). Pada uji fisik dilakukan pengamatan terhadap 3 parameter uji yaitu warna, aroma, dan endapan pada susu.

Pada uji bakteri dilakukan pengujian nilai ALT (Angka Lempeng Total), nilai koliform, dan bakteri *Escherichia Coli* (*E.coli*). Uji ALT merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui jumlah mikroba pada suatu sampel. Hasil pengujian ALT berupa angka dalam koloni (*Colony Forming Unit* / CFU) per mL. Uji nilai koliform adalah uji yang dilakukan pada bakteri koliform. Bakteri koliform adalah golongan bakteri intestinal, yaitu bakteri yang hidup dalam saluran pencernaan manusia. Bakteri koliform yang diuji pada susu adalah bakteri *E.Coli* dan *Enterobacteriaceae*. Pengujian bakteri dilakukan di Laboratorium Biologi FMIPA Untan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan Alat

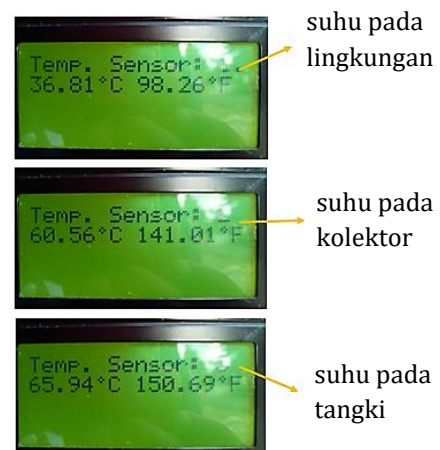
Hasil perancangan alat terdiri dari komponen-komponen alat berupa kolektor surya, pelat *absorber*, tangki pasteurisasi, dan *heater*. Kolektor surya dan tangki pasteurisasi dibuat dari bahan *stainless steel*, pelat *absorber* dibuat dari bahan kuningan, dan *heater* dibuat dari lilitan kawat tembaga. Hasil perancangan alat dapat dilihat seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil Perancangan Alat Pasteurisasi Tenaga Surya

Berdasarkan hasil perancangan alat, kolektor surya dibuat berbentuk prisma terbalik agar radiasi matahari yang diterima oleh kolektor surya lebih maksimal. Cahaya matahari masuk ke ruang kolektor melalui kaca transparan. Selanjutnya panas dari sinar matahari dikumpulkan oleh pantulan cermin pada bagian sisi kolektor. Panas yang terkumpul kemudian diserap oleh pelat *absorber*. Pada perancangan pelat *absorber*, dibuat sistem aliran zig-zag agar penyerapan kalor oleh aliran susu semakin besar. Selain itu, tangki pasteurisasi dibuat dengan sistem yang terisolasi dan dilapisi bahan isolator agar mengurangi pelepasan kalor dari susu di dalam tangki ke lingkungan. *Heater* difungsikan untuk menstabilkan suhu pada tangki pasteurisasi ketika terjadi penurunan suhu saat terjadi tutupan awan.

3.2 Hasil Pengujian LCD

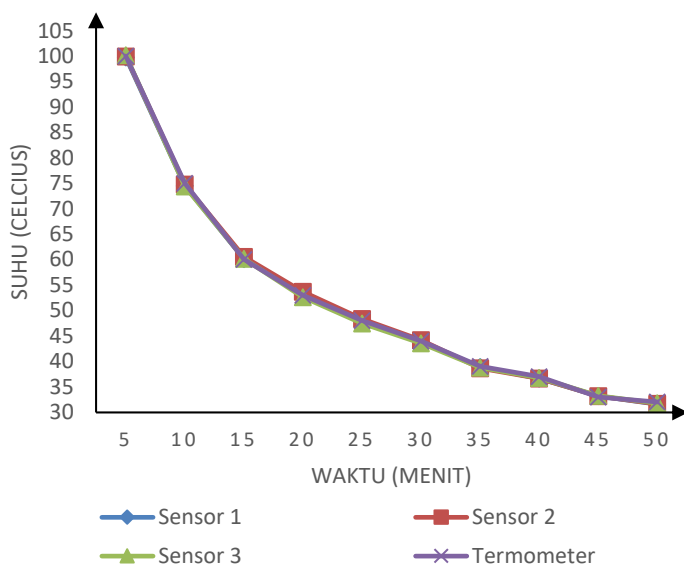


Gambar 8 Tampilan Hasil Pengujian LCD

Berdasarkan gambar 8, LCD telah menunjukkan tampilan yang sesuai dengan *coding* yang diberikan. LCD dapat menampilkan suhu pada lingkungan, kolektor, dan tangki pasteurisasi. Suhu lingkungan ditunjukkan pada temperatur sensor 1, suhu kolektor ditunjukkan pada temperatur sensor 2, dan suhu tangki ditunjukkan pada temperatur sensor 3. Sinyal digital yang dikeluarkan sensor DS18B20 telah menampilkan suhu yang sesuai dengan keadaan masing-masing sensor. Sehingga LCD bekerja dengan baik dan parameter keberhasilan pada pengujian LCD telah tercapai.

3.3 Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu pada sensor dan hasil pembacaan suhu pada termometer air raksa pada air mendidih. Hasil pengujian sensor DS18B20 *waterproof* dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Grafik Perbandingan Suhu pada Sensor dan Termometer

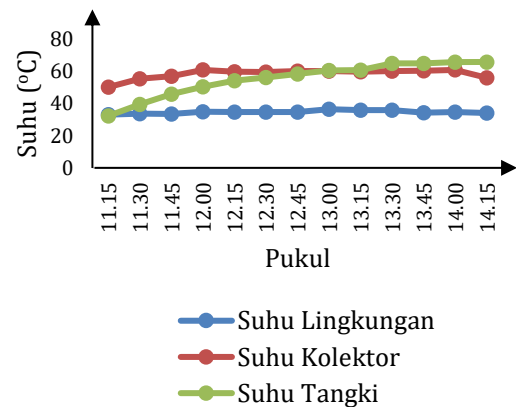
Berdasarkan Gambar 9, dapat dilihat bahwa suhu yang ditunjukkan oleh masing-masing sensor dan termometer tidak jauh berbeda dan grafik saling berhimpitan. Pada saat pengujian, terjadi proses perpindahan kalor pada air mendidih dan lingkungan sekitar. Sehingga suhu air mendidih mengalami kesetimbangan termal dengan suhu lingkungan sekitar.

Nilai *error* terbesar sensor terhadap termometer yang ditunjukkan pada sensor 1 sebesar 0,5 °C, pada sensor 2 sebesar 0,69 °C, dan pada sensor 3 sebesar 0,63 °C. Nilai *error* yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa suhu

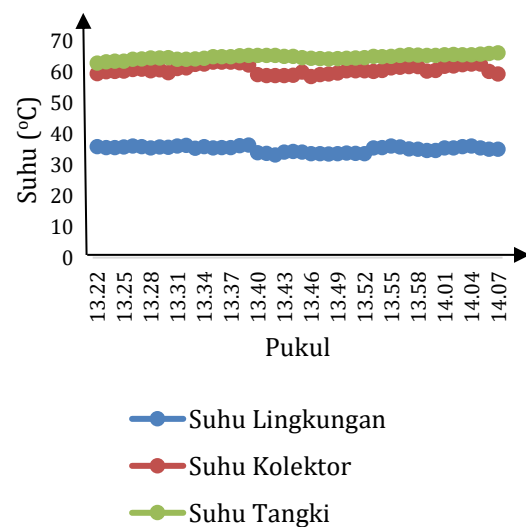
yang ditampilkan pada sensor tidak jauh berbeda dengan alat pengukur suhu standar yang biasa digunakan. Dengan demikian, sensor DS18B20 dapat mengukur suhu pada lingkungan, kolektor surya, dan tangki pasteurisasi dengan baik.

3.4 Hasil Pengujian Alat Pasteurisasi

Pengujian alat pasteurisasi dilakukan pada tanggal 4 Juni 2018 dengan suhu lingkungan sebesar 33°C. Hasil pengujian alat pasteurisasi dapat dilihat pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10 Grafik Pengujian Performa Alat Pasteurisasi



Gambar 11 Grafik Pengujian Kestabilan Suhu Pasteurisasi

Berdasarkan Gambar 10, dapat dilihat bahwa suhu lingkungan berkisar antara 33°C sampai 36°C, sehingga suhu pada kolektor secara signifikan naik hingga mencapai suhu terbesar yaitu 60,69°C. Suhu pada kolektor mengalami kenaikan akibat pengumpulan panas dari sistem kolektor yang telah dibuat. Panas dari sistem

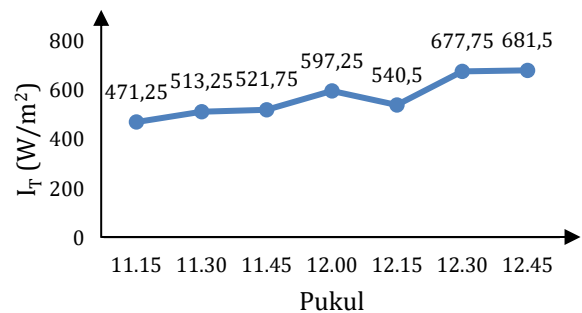
kolektor berasal dari pantulan-pantulan cermin pada sisi-sisi kolektor dan efek rumah kaca yang ditimbulkan oleh kaca transparan pada bagian atas kolektor. Suhu yang terkumpul oleh kolektor surya mampu ditransferkan ke aliran susu dengan suhu tangki pasteurisasi mula-mula yaitu $33,13^{\circ}\text{C}$ kemudian naik menjadi $60,38^{\circ}\text{C}$ pada pukul 13.00. Kenaikan suhu susu ini dipengaruhi oleh perpindahan kalor konduksi yang dilakukan oleh pelat *absorber* ke aliran susu dibawah pelat dan kemudian berpindah secara konveksi ke aliran susu di dalam tangki. Namun pada pukul 13.03 suhu tangki mengalami penurunan menjadi $59,34^{\circ}\text{C}$. Faktor penurunan suhu tangki dikarenakan adanya tutupan awan dan sebagian kalor pada tangki yang terbuang ke lingkungan. Pada saat suhu turun, *heater* dihidupkan agar suhu pada tangki tetap stabil mencapai suhu pasteurisasi. Sehingga suhu kembali naik pada pukul 13.04 menjadi $60,13^{\circ}\text{C}$. Setelah mencapai suhu pasteurisasi, dilakukan pengujian kedua.

Pada Gambar 11, dapat dilihat rata-rata suhu pasteurisasi yang dihasilkan pada tangki berkisar antara 63°C sampai 65°C . Suhu ini sudah sesuai dengan suhu pasteurisasi yang dibutuhkan pada proses LTLT. Pengujian kedua dilakukan lebih dari 30 menit agar bakteri patogen dapat hilang. Suhu yang ditunjukkan pada tangki juga relatif stabil walaupun suhu pada kolektor mengalami ketidakstabilan. Kestabilan suhu pada tangki dikarenakan saat tangki mengalami penurunan suhu, *heater* dihidupkan secara kontinu sehingga panas dapat terus dipertahankan pada rentang suhu yang diinginkan. Setelah syarat pada proses pasteurisasi metode LTLT terpenuhi maka pengujian selesai.

3.5 Hasil Pengujian Efisiensi Kolektor

Pengujian efisiensi kolektor dilakukan pada tanggal 4 Juni 2018 dengan suhu lingkungan sebesar 33°C pada pukul 11.15 sampai pukul 13.00. Luasan kolektor surya yang berguna untuk menangkap intensitas radiasi matahari adalah sebesar $0,2604\text{ m}^2$ dan panas jenis susu sebesar $1,25\text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ atau $5,25\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$. Nilai panas jenis susu didapatkan dari percobaan menggunakan kalorimeter. Susu sapi memiliki berat jenis sebesar $1,028\text{ g/mL}$, sedangkan volume susu yang digunakan saat penelitian adalah sebanyak 2.800 mL . Sehingga massa susu yang diuji adalah sebanyak $2.878,4\text{ g}$.

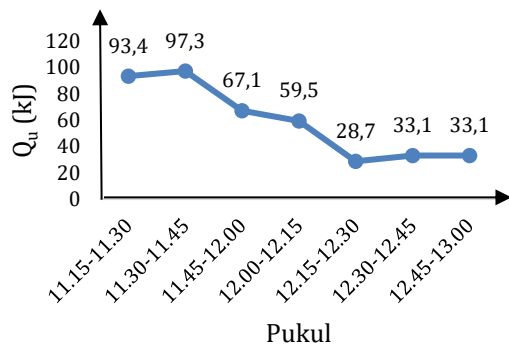
Pada penentuan efisiensi kolektor diperlukan data intensitas radiasi matahari untuk mengetahui jumlah energi matahari yang sampai pada luasan kolektor pada saat pengujian berlangsung. Data intensitas radiasi matahari diperoleh dari Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) Pontianak. Data intensitas radiasi matahari total (I_T) selama proses pengujian ditunjukkan seperti pada Gambar 12.



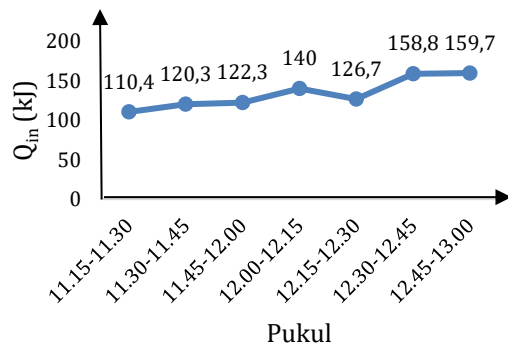
Gambar 12 Grafik Intensitas Radiasi Matahari

Berdasarkan Gambar 12, dapat dilihat bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari total terus naik dan memiliki intensitas tertinggi pada pukul 12.45 yaitu sebesar $681,5\text{ W/m}^2$ dengan temperatur lingkungan mencapai $34,63^{\circ}\text{C}$. Kenaikan intensitas radiasi matahari disebabkan karena perbedaan dari sudut datang sinar matahari. Pada siang hari, sudut datang sinar matahari semakin besar terhadap luasan kolektor surya sehingga energi matahari yang diterima kolektor juga semakin bertambah.

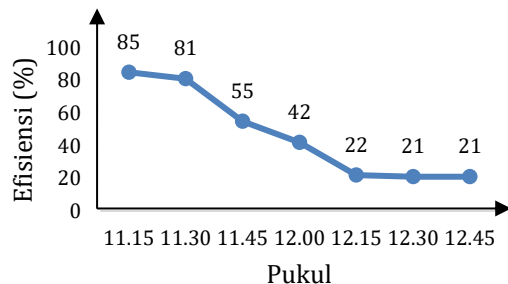
Prinsip dasar untuk menghitung efisiensi kolektor adalah dengan membandingkan besar kenaikan temperatur fluida yang mengalir di dalam kolektor dengan intensitas cahaya matahari yang diterima kolektor. Energi berguna merupakan energi yang digunakan kolektor untuk menaikkan temperatur fluida yang mengalir di dalam kolektor. Sedangkan energi diterima adalah energi radiasi matahari yang diterima oleh luasan kolektor. Grafik energi berguna rata-rata kolektor (Q_u) dan energi diterima rata-rata kolektor (Q_{in}) setiap 15 menit ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Efisiensi kolektor adalah perbandingan energi yang digunakan kolektor dan energi yang diterima kolektor. Grafik efisiensi kolektor ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 13 Grafik Energi Berguna Kolektor



Gambar 14 Grafik Energi Diterima Kolektor



Gambar 15 Grafik Efisiensi Kolektor

Pada gambar 13 terlihat bahwa nilai energi berguna tertinggi sebesar 97,3 kJ pada pukul 11.30. Kemudian energi berguna terus turun menjadi 28,2 kJ pada pukul 12.15. Energi berguna pada kolektor surya dipengaruhi oleh perbedaan suhu pada aliran masuk dan aliran keluar susu. Kenaikan suhu pada susu dikarenakan adanya perpindahan kalor secara konduksi dari pelat absorber ke aliran susu dan perpindahan kalor secara konveksi pada aliran di dalam susu. Penurunan nilai energi berguna disebabkan karena seiring dengan bertambahnya waktu, laju kalor yang mengalir ke lingkungan semakin besar.

Pada gambar 14 terlihat bahwa energi yang diterima kolektor terus naik hingga mencapai 159,7 kJ pada pukul 12.45. Kenaikan energi yang diterima dipengaruhi oleh jumlah energi matahari yang sampai pada luasan kolektor.

Energi diterima kolektor memiliki nilai yang terus naik karena intensitas radiasi matahari juga semakin besar pada siang hari yaitu mencapai 681,5 W/m².

Selanjutnya, pada gambar 15 dapat dilihat bahwa efisiensi kolektor tertinggi yaitu pada pukul 11.15 sebesar 85% dan efisiensi terendah sebesar 21% pada pukul 12.30 dan 12.45. Penurunan efisiensi kolektor disebabkan oleh semakin besar energi kalor dari aliran susu yang mengalir ke lingkungan seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini disebabkan, semakin lama perbedaan antara suhu pada susu dengan suhu lingkungan semakin besar. Hal ini tentu saja menyebabkan laju perpindahan kalor dari susu ke lingkungan semakin besar, sehingga efisiensi kolektor menjadi semakin kecil hingga mencapai 21% pada pukul 12.30.

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai efisiensi kolektor rata-rata setiap 15 menit sebesar 46,7%. Selain itu, dilakukan juga perhitungan efisiensi kolektor total pada saat pengujian. Energi berguna total sebesar 411,8 kJ dan energi diterima total sebesar 941,0 kJ sehingga efisiensi total sebesar 44%.

3.5 Hasil Pengujian Kualitas Susu

Pengujian fisik pada susu mentah dan susu pasteurisasi di suhu ruang dilakukan setiap 1 jam sekali dan dilihat perubahan pada ketiga parameter uji yaitu warna, aroma, dan endapan pada susu. Berdasarkan pengujian uji fisik di suhu ruang, susu pasteurisasi dapat bertahan hingga 8 jam setelah proses pasteurisasi berlangsung. Sedangkan pada susu mentah, susu hanya bertahan hingga 3 jam di suhu ruang. Selain dilakukan pengujian fisik di suhu ruang, pada susu pasteurisasi dan susu mentah juga dilakukan pengujian fisik di suhu pendingin. Pengujian fisik pada susu mentah dan susu pasteurisasi di suhu pendingin dilakukan setiap 1 hari sekali. Berdasarkan pengujian fisik susu di suhu pendingin, susu pasteurisasi dapat bertahan hingga 7 hari setelah proses pasteurisasi berlangsung. Sedangkan susu mentah hanya dapat bertahan selama 3 hari di suhu pendingin. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitas susu pasteurisasi lebih baik dibandingkan susu mentah.

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian bakteri pada susu mentah dan susu pasteurisasi. Berdasarkan kriteria mikrobiologi dalam pangan dan olahan yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 16 Tahun 2016, batasan mikroba ALT yang diperbolehkan pada susu pasteurisasi adalah berkisar antara 10⁴ CFU/mL sampai dengan 10⁵ CFU/mL. Batasan mikroba *Enterobacteriaceae* berkisar antara <1

MPN/mL sampai 5 MPN/mL. Sedangkan bakteri *E.Coli* bernilai negatif (-) atau sudah tidak ada lagi cemaran bakteri *E.coli* di dalam susu. Pengujian bakteri pada susu mentah dan susu pasteurisasi menggunakan alat pasteurisasi dan kompor gas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Pengujian Bakteri pada Susu Mentah

Jenis Sampel	Nilai ALT (CFU/mL)	Nilai Koliform (MPN/mL)	E.Coli
susu mentah	$1,26 \times 10^6$	1,7	+
susu pasteurisasi (alat pasteurisasi)	1.875	1,5	-
susu pasteurisasi (kompor gas)	22.600	1,5	-

Nilai ALT yang diperoleh pada susu mentah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM. Nilai koliform masih memenuhi syarat BPOM. Sedangkan bakteri *E.coli* bernilai positif (+) yang menandakan bahwa masih ada cemaran bakteri *E.coli* di dalam susu mentah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas susu mentah tidak baik untuk dikonsumsi.

Nilai ALT pada kedua susu pasteurisasi memenuhi syarat susu pasteurisasi menurut BPOM. Nilai ALT pada susu pasteurisasi menggunakan alat lebih kecil dibandingkan nilai ALT menggunakan kompor. Perbedaan nilai ALT ini disebabkan proses pasteurisasi pada alat yang dibuat menggunakan sistem tangki pasteurisasi yang terisolasi, sedangkan proses pasteurisasi menggunakan kompor dilakukan dengan memakai wadah yang terbuka, sehingga mikroba lingkungan masuk ke dalam wadah susu. Nilai koliform dari kedua susu pasteurisasi ini juga masih memenuhi standar yang ditetapkan. Hasil pengujian bakteri *E.coli* juga bernilai negatif (-) yang menandakan bahwa tidak ada cemaran bakteri *E.coli* pada susu. Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka susu pasteurisasi baik untuk dikonsumsi.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dibuat alat pasteurisasi susu tenaga surya menggunakan sistem kolektor surya dengan sistem pengukur suhu berbasis sensor DS18B20 *waterproof*. Alat pasteurisasi yang dibuat dapat mencapai suhu pasteurisasi antara 63°C sampai 65°C selama lebih dari 30 menit dengan efisiensi rata-rata sebesar 46,7%. Dari hasil uji fisik, didapatkan susu pasteurisasi yang dapat bertahan hingga 8 jam pada suhu ruang (28°C – 32°C) dan 7 hari pada suhu pendingin ($\pm 10^\circ\text{C}$). Dari hasil uji bakteri, didapatkan bahwa nilai ALT, nilai koliform, dan *E.Coli* pada susu pasteurisasi telah memenuhi standar BPOM.

Daftar Pustaka

- [1] Setya, A.W., Teknologi Pengolahan Susu, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Slamet Riyadi, Surakarta, 2012.
- [2] Burlian, Rancang Bangun Kompor Energi Surya Tipe Kotak dengan Sistem Konsentator Cermin Datar, Jurnal Rekayasa Sriwijaya, 19(3), 32-38, 2010.
- [3] Sulaeman, Analisa Efisiensi Kolektor Surya Pelat Datar dengan Debit Aliran Fluida 3-10 Liter/Menit, Jurnal Teknik Mesin, 3(1), 29-32, 2013.
- [4] Ramadhan, Nizar M., Analisis Perpindahan Panas pada Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya dengan *Turbulence Enhancer*, Rekayasa Mesin, 8(1), 15-22, 2017.
- [5] Arikundo, Fadli R., Rancang Bangun *Prototype* Kolektor Surya Tipe Pelat Datar untuk Penghasil Panas pada Pengering Produk Pertanian dan Perkebunan, e-Dinamis, 8(4), 194-202, 2014.
- [6] Sari, Zulfiah Ayu K., Karakterisasi Sensor *Photodiode*, DS18B20, dan Konduktivitas pada Rancang Bangun Sistem Deteksi Kekeruhan dan Jumlah Zat Padat Terlarut dalam Air, Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 2(2), 149-156, 2017.
- [7] Sari, Dwi V., Sistem Pengukuran Suhu Tanah Menggunakan Sensor DS18B20 dan Perhitungan Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi *Wenner*, Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, 4(1), 83-90, 2016.