

Pengaruh reflektor terhadap karakteristik pengeringan dan kualitas produk pada model pengering gabah sistem radiasi infra merah

Oleh :

Risharyanto
NIM. 1.0401041

BAB I **PENDAHULUAN**

1.1. LATAR BELAKANG

Industri pertanian sangat membutuhkan penanganan pasca panen karena bahan hasil pertanian umumnya bersifat mudah rusak dan tidak tahan disimpan. Salah satu kegiatan untuk memperpanjang daya simpan adalah operasi pengeringan. Selain dapat memperpanjang daya simpan, pengeringan juga dapat mempertahankan daya fisiologis biji-bijian/benih dan mendapatkan kualitas yang lebih baik.

Cara yang paling mudah dan murah untuk melakukan pengeringan adalah dengan menggunakan sinar matahari atau penjemuran. Pengeringan dengan cara ini mempunyai beberapa kelemahan yaitu tergantung cuaca, sukar dikontrol, memerlukan tempat penjemuran yang luas, mudah terkontaminasi, dan memerlukan waktu yang lama serta banyak menggunakan tenaga manusia. Misalnya saja di daerah tropis kadar air dari gabah berkurang dari 20 % menjadi 14 % dalam tiga hari [Brooker, 1992].

Selain itu, terdapat juga sistem pengeringan konvensional. Pengeringan konvensional dilakukan dengan meniupkan udara luar yang dipanaskan dengan *heater* pada produk yang akan dikeringkan. Kelemahan sistem ini adalah konsumsi daya listrik yang cukup besar serta proses pengeringannya tidak merata.

Sistem pengeringan yang lain adalah dengan menggunakan sumber panas radiasi infra merah. Pada sistem ini, produk diletakkan pada *tray* atau rak kemudian diberikan panas radiasi infra merah. Kekurangan sistem ini adalah tidak meratanya hasil pengeringan dan kerugian energi panas karena banyaknya kalor yang keluar ke lingkungan saat harus mengosongkan dan mengisi rak. Sistem ini mampu menghasilkan gabah kering dengan kadar air 14 % dalam waktu 4-5 jam.

Tujuan pengeringan khususnya pada gabah adalah untuk mendapatkan gabah kering yang tahan untuk disimpan dan memenuhi persyaratan kualitas gabah yang akan dipasarkan, dengan cara mengurangi kadar air pada gabah sampai kadar air yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan tingkat kestabilan mutu gabah dengan kadar air 14 % adalah 1 tahun sedangkan gabah dengan kadar air 20 % hanya mampu bertahan selama 10 hari [www.solopos.com].

Pengeringan gabah diharapkan dapat dilakukan dengan cepat dan kualitas hasil pengeringan yang baik. Pengeringan yang cepat dapat dilakukan dengan temperatur tinggi, namun akibatnya sering terjadi kerusakan pada material yang dikeringkan. Di samping itu dengan memakai temperatur tinggi berarti membutuhkan jumlah energi yang lebih besar. Artinya harga energi yang diperlukan juga semakin besar atau ongkos produksi semakin mahal sehingga cara ini tidak banyak disukai. Inilah kendala utama yang dihadapi teknologi pengeringan gabah.

Permasalahan biaya, permasalahan kecepatan pengeringan, dan kualitas gabah hasil pengeringan menyebabkan industri pengeringan gabah tidak begitu berkembang sehingga diperlukan penelitian mengenai inovasi teknologi pengeringan yang hemat energi.

Untuk itu dikembangkan alat pengering lain yang menggunakan sumber panas dari radiasi infra merah namun menggunakan mekanisme konveyor. Sistem ini bisa memberikan penanganan fisik lebih baik bagi gabah, sangat bagus untuk pengeringan skala besar dan kehilangan panas lebih rendah karena proses pengisian gabah yang kontinu. Keuntungan yang lain tidak tergantung cuaca, kapasitas pengeringan dapat dipilih sesuai dengan keperluan, tidak memerlukan tempat yang luas, kondisi pengeringan dapat dikontrol dan memerlukan waktu yang relatif singkat [Mujumdar, 1995].

Reflektor untuk keperluan pencahayaan menentukan distribusi cahaya yang dihasilkan lampu di dalamnya karena faktor reflektansi bahan. Tujuan yang ingin dicapai ialah dengan daya listrik yang sama atau lebih rendah didapatkan intensitas radiasi atau tingkat pencahayaan yang lebih tinggi.

Diharapkan dari penelitian ini selain diperoleh *model* mesin pengering gabah hemat energi juga diperoleh data yang cukup dalam proses pengeringan gabah. Data tersebut sangat diperlukan dalam perancangan *prototype* mesin pengering gabah

untuk mendapatkan hasil gabah dengan tingkat kecacatan rendah. Pengembangan mesin pengering dengan kombinasi unit radiasi infra merah dan mekanisme konveyor diharapkan akan menjadi suatu rancangan mesin pengering baru yang hemat energi dan inovatif.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan apa yang telah disebutkan di atas dapat dirumuskan beberapa hal sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana performa model pengering gabah yang memanfaatkan panas radiasi infra merah.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh penambahan reflektor terhadap intensitas radiasi, laju pengeringan serta kualitas produk beras yang dihasilkan.

1.3. BATASAN MASALAH

Untuk memberikan arah penelitian maka perlu adanya batasan-batasan permasalahan. Batasan-batasan tersebut adalah :

- a. Jenis pengering yang digunakan adalah pengering kontinu (*continuous drying*) dengan sumber energi radiasi infra merah dengan mekanisme pemindahan material menggunakan konveyor.
- b. Tipe gabah yang dikeringkan adalah tipe IR 64.
- c. Dimensi total ruang pengering adalah $(1,4 \times 0,95 \times 0,65) \text{ m}^3$.
- d. Kecepatan aliran udara buang/*exhaust fan* adalah konstan 1,25 m/detik.
- e. Suhu pengeringan konstan $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (*preheating process*) dan $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (*mainheating process*).
- f. Batasan kadar air yang diinginkan adalah 14 % basis basah.
- g. Ketebalan gabah yang dikeringkan pada konveyor adalah konstan 2,5 cm.
- h. Variasi daya lampu yang digunakan adalah rendah (0,230 kW-*low*), sedang (0,260 kW-*medium*) dan tinggi (0,290 kW-*high*).
- i. Arah penyinaran dengan lampu infra merah adalah tegak lurus terhadap tumpukan gabah dengan jarak penyinaran konstan 0,35 m.

- j. Jenis reflektor yang digunakan adalah *planar* (datar) dan *planar* kombinasi dengan sudut pantul 45° .
- k. Sifat fisis yang ingin diketahui adalah pengaruh penambahan reflektor terhadap intensitas radiasi, laju pengeringan serta kualitas produk yang dihasilkan.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1. Mengetahui bagaimana performa model pengering gabah yang memanfaatkan panas radiasi infra merah.
- 2. Mengetahui bagaimana pengaruh penambahan reflektor terhadap intensitas radiasi, laju pengeringan serta kualitas produk beras yang dihasilkan.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini terbagi menjadi:

1. Manfaat Teoritis

- a. Mengembangkan pengetahuan tentang pemanfaatan sumber panas pengeringan alternatif.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan reflektor terhadap intensitas radiasi, laju pengeringan dan kualitas produk yang dihasilkan pada model pengering gabah dengan radiasi infra merah.

2. Manfaat Praktis

Memberikan informasi tentang penggunaan alat pengering gabah dengan radiasi infra merah sebagai alat pengering gabah alternatif.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika dari penulisan laporan penelitian ini adalah :

BAB I : latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat teoritis maupun praktis dan sistematika penulisan.

BAB II : dasar teori.

BAB III : metodologi penelitian.

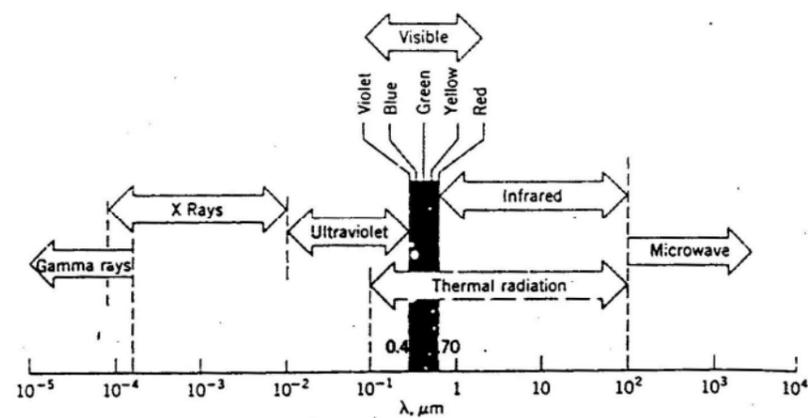
BAB IV : data dan analisis.

BAB V : kesimpulan dan saran.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Radiasi Infra Merah

Radiasi merupakan proses perambatan gelombang elektromagnetik. Setiap gelombang elektromagnetik memiliki frekuensi yang berbeda-beda, dimana setiap frekuensi tersebut bisa dilihat sebagai spektrum yang berbeda. Spektrum radiasi elektromagnetik secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.1 [Incropera, 1990].



Gambar 2.1. Spektrum radiasi elektromagnetik [Incropera, 1990].

Spektrum menengah yang terletak antara 0,1 sampai 100 μm terdiri dari sebagian *ultraviolet*, semua cahaya tampak dan infra merah. Radiasi yang terjadi pada spektrum inilah yang disebut dengan radiasi termal, dan biasanya terjadi proses perpindahan panas [Incropera, 1990].

Transmisi dari radiasi elektromagnetik tidak membutuhkan medium untuk perambatannya. Panjang gelombang spektrum radiasi bergantung kondisi alam dan tingkatan temperatur sumber panas. Radiasi ini disebut radiasi termal yang menghasilkan panas dengan panjang gelombang antara 0,1-100 μm . Radiasi infra

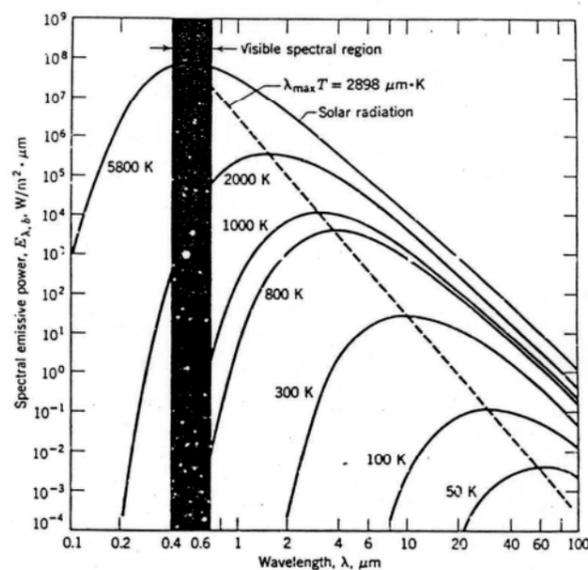
merah termasuk dalam kategori radiasi termal yang dapat diklasifikasikan sebagai *near infrared* (0,75-3 μm), *medium infrared* (3-25 μm), *far infrared* (25-100 μm) [Mujumdar, 1986].

Jumlah radiasi total yang dipancarkan suatu benda dalam semua arah dan panjang gelombang per satuan luas dan waktu disebut dengan daya emisi (*emissive power*), E . Radiasi maksimal dipancarkan oleh permukaan benda hitam (*black body*). Benda hitam dianggap sebagai benda sempurna, daya emisinya hanya tergantung pada temperatur, dan tidak dipengaruhi oleh arahnya (*diffuse*). Daya emisi spektral pada benda hitam dinyatakan dalam Hukum Radiasi Planck, yang dirumuskan dengan [Incropera, 1990]:

$$E_{\lambda,b} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (2.1)$$

dimana: $C_1 = 2\pi^5 h c_0^2 = 3.742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$
 $C_2 = (hc_0/k) = 1.439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

Distribusi spektral persamaan tersebut secara grafik dapat dilihat pada Gambar. 2.2.



Gambar 2.2. Daya emisi spektral pada benda hitam. [Incropera, 1990].

Dari Gambar 2.2. terlihat bahwa daya emisi spektral benda hitam mempunyai titik maksimum, dimana λ_{max} tergantung pada temperaturnya. Daya

emisi spektral maksimum terletak pada λ yang semakin kecil dengan meningkatnya temperatur. Dalam gambar tersebut titik puncaknya dihubungkan dengan garis putus-putus. λ_{\max} dapat dicari dengan menggunakan Hukum Pergeseran Wien (*Wien's Displacement Law*), yang dinyatakan dengan [Incropera, 1990]:

$$\lambda_{\max} T = 2897.8 \mu\text{m} \cdot K \quad (2.2)$$

Daya emisi total pada benda hitam dinyatakan dalam Hukum Stefan-Boltzman [Incropera, 1990]:

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

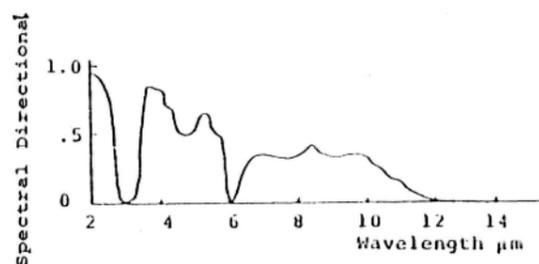
dimana $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot K$

Perbandingan antara daya emisi suatu benda dengan daya emisi benda hitam dinyatakan sebagai *emisivitas* benda. [Incropera, 1990].

$$\varepsilon = \frac{E}{E_b} \quad (2.4)$$

Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka tidak semua energi tersebut diserap (absorpsi) oleh permukaan. Sebagian dari radiasi itu dipantulkan (refleksi), dan sebagian lagi diteruskan (transmisi). Besarnya energi yang diubah menjadi panas tergantung dari sifat-sifat bahan tersebut. Selain tergantung pada sifat-sifat material, absorpsivitas, reflektivitas, dan transmisivitas suatu benda juga dipengaruhi panjang gelombang dan arah datangnya radiasi [Incropera, 1990].

Contoh pengaruh spektrum pada karakteristik benda bisa dilihat pada beberapa material. Kaca atau air akan bersifat semi transparan terhadap gelombang pendek, dan menjadi *opaque* pada gelombang panjang [Incropera, 1990].



Gambar 2.3. Absorpsi spektral air. (Mujumdar, 1995)

Energi infra merah adalah energi radiasi yang perambatannya dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Seperti cahaya, energi infra merah dapat dipantulkan dan difokuskan. Energi infra merah tidak tergantung pada udara sebagai media transmisi dan diubah bentuknya menjadi energi panas setelah diserap oleh material. Dalam kondisi nyata, udara dan gas hanya menyerap sebagian kecil energi infra merah. Kesimpulannya, energi infra merah merupakan media pertukaran kalor yang efisien tanpa adanya kontak langsung antara sumber panas dengan material tujuan [Chromalox, 2004].

Teknologi pengeringan infra merah dengan prinsip radiasi adalah dimana panjang gelombang elektromagnetik menembus produk dan langsung memanaskan kandungan air lalu menguapkannya tanpa harus memanaskan udara sekitar. Energi radiasi dengan panjang gelombang 3-7 μm sangat ideal untuk mengurangi kadar air gabah [Catalytic Drying Technology (CDT), 2004].

Penelitian di Louisiana State University menunjukkan pula bahwa penggunaan *preheating* pada pengeringan infra merah mampu mengurangi waktu total pengeringan. *Preheating* mampu mengurangi kadar air hingga 3% atau lebih dari kondisi awalnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *preheating process* untuk gabah selama 8-10 menit dengan temperatur kerja 140 $^{\circ}\text{F}$ (60 $^{\circ}\text{C}$) mampu menurunkan waktu total pengeringan [CDT, 2004].

Keuntungan dari pengeringan infra merah adalah memiliki efisiensi tinggi untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas, radiasi memanaskan langsung bahan tanpa memanaskan udara sekitar, pengontrolan proses yang lebih mudah dan pemanasan produk berjalan seragam [Mujumdar, 1995].

2.2 Mekanisme Konveyor

Konveyor adalah pesawat pemindah bahan yang memindahkan bahan secara kontinu atau dengan gerakan terus menerus, dan biasanya memiliki kecepatan yang tetap [Joewono, _].

Tipe bahan yang diangkut, serta sifat fisik maupun sifat mekaniknya adalah faktor utama yang harus dipertimbangkan untuk menentukan tipe dan perencanaan pesawat pemindah bahan serta komponennya [Joewono, _].

Beban yang dipindahkan dibedakan menjadi menjadi dua yaitu [Joewono, _]:

- a. beban unit (*unit load*)
- b. beban curah (*bulk load*)

Beban unit merupakan beban satuan yang biasanya dapat diangkat satu per satu atau berkelompok, termasuk beban curah yang sudah dikemas menjadi satu kesatuan, misalnya semen dalam sak, atau minyak dalam kaleng. Karakteristik beban unit didasarkan pada ukuran seluruhnya, berat tiap unit, kemungkinan cara pengangkatan, sifat khusus seperti mudah terbakar, mudah meledak, mudah patah [Joewono, _].

Beban curah misalnya tepung, semen dan biji-bijian atau yang tidak dikemas. Karakteristik beban curah didasarkan pada *lump size*, berat spesifik, kelembaban (kandungan air), mobilitas partikel, sudut tumpukan dan keabrasian partikel [Joewono, _].

Kapasitas konveyor dinyatakan dengan [Joewono, _]:

$$Q = q \cdot v \quad (2.5)$$

dimana :

Q = kapasitas pemindahan (kg/detik)

q = berat beban per satuan panjang alat pembawa beban (kg/m)

v = kecepatan linier rata-rata (m/detik)

Bila material yang dipindahkan adalah material curah maka [Joewono, _]:

$$q = \gamma \cdot F \quad (2.6)$$

dimana :

γ = densitas material (kg/m³)

F = luas penampang tumpukan (m²)

Sehingga kapasitas pemindahan per jam dinyatakan dengan [Joewono, _]:

$$Q = \frac{3600 \cdot F \cdot \gamma \cdot v}{1000} \quad (2.7)$$

Q dinyatakan dalam ton/jam

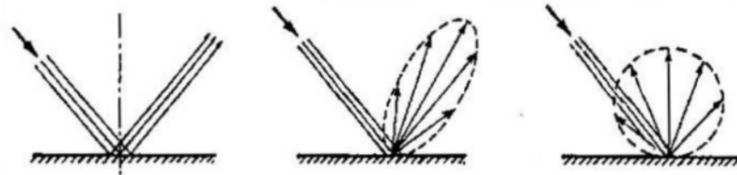
Untuk pengeringan skala besar dapat digunakan mekanisme konveyor. Karena dapat memberikan penanganan fisik produk lebih baik dan pengaturan proses yang lebih mudah serta kehilangan panas lebih rendah karena kekontinuan proses

pengisian gabah. Pada pengering konveyor tunggal, kecepatan aliran udara mendekati 1,25 m/detik dan 0,25 – 2,5 m/detik pada konveyor untuk keperluan khusus. Temperatur operasi berkisar antara 10-200 °C. Pengering dengan mekanisme konveyor dimensi lebarnya dapat berkisar antara 1 sampai 4,5 m atau 2,5 sampai 3 m untuk keperluan khusus sedangkan panjangnya dimulai dari 3 m sampai dengan 60 m. Material konstruksi konveyor dibuat dari *perforated stainless steel sheet* dengan ketebalan kurang dari 1 mm.[Mujumdar,1995].

Pada kebanyakan aplikasi oven sistem konveyor, sumber panas infra merah dipasang pada jarak 12 inchi dari material yang dikeringkan untuk mendapatkan distribusi radiasi yang seragam. Pada aplikasi khusus jarak ini dapat ditambah atau dikurangi untuk tujuan yang sama [Chromalox, 2004].

2.3 Reflektor Infra Merah

Reflektor untuk keperluan pencahayaan menentukan distribusi cahaya yang dihasilkan lampu di dalamnya karena faktor reflektansi bahan. Pantulan atau refleksi adalah suatu terminologi umum yang menjelaskan proses dimana sebagian arus cahaya tiba pada permukaan suatu bidang dan tidak dapat menembus bidang tersebut. Terdapat 3 jenis pantulan yaitu: pantulan teratur, pantulan baur atau difus dan pantulan menyebar [Muhaimin, 2001].



Gambar 2.4 Macam-macam pantulan [Muhaimin, 2001].

Pada refleksi teratur sudut datang maupun sudut pergi sama besarnya, bahan refleksi teratur antara lain: kaca perak, metal yang dipoles, lembar aluminium, dan *stainless steel*. Reflektansi atau kemampuan memantulkan cahaya berbagai bahan spekulat ditunjukkan pada tabel berikut [Muhaimin, 2001].

Tabel 2.1 Reflektansi bahan-bahan spekulat [Muhaimin, 2001]

Bahan	Pengerjaan akhir	Reflektansi
-------	------------------	-------------

Aluminium umum	Poles dan anodaising	0.7
Aluminium murni 99%	Poles dan anodaising	0.8
Kaca Perak	Poles dan anodaising	0.9
Gelas dan plastik	Aluminisasi	0.85 hingga 0.88
Kromium	Poles	0.65
Stainless steel	Poles	0.6

Pantulan difus dapat dihasilkan dari permukaan reflektor yang dibuat dari partikel-partikel kristal kecil [Muhaimin, 2001].

Tabel 2.2 Bahan reflektor difus [Muhaimin, 2001]

Bahan	Pengerjaan akhir	Reflektansi
Baja	Dicat putih yang mengkilap	Hingga 0.84
Plastik	Putih mengkilap	Hingga 0.9

Pada pantulan menyebar permukaan reflektor terbuat dari aluminium dipoles atau bahan sejenisnya yang disikat dan dietsa [Muhaimin, 2001].

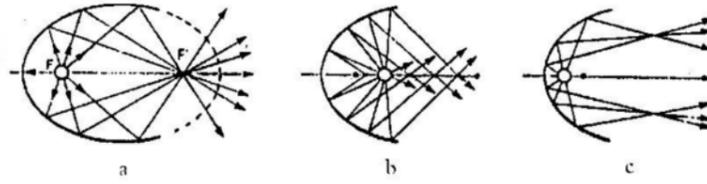
Tabel 2.3 Bahan reflektor menyebar [Muhaimin, 2001]

Bahan	Pengerjaan akhir	Reflektansi
Aluminium	Peened	0.7 hingga 0.8
	Etsa	0.7 hingga 0.75
	Sikat	0.55 hingga 0.58
Kromium	Satin	0.5 hingga 0.55
Baja	Cat Aluminium	0.6 hingga 0.7

Pada prakteknya pantulan yang dihasilkan reflektor terjadi dari perpaduan ketiga jenis pantulan tersebut. Untuk keperluan tersebut digunakan reflektor yang terbuat dari: enamel porselin [Muhaimin, 2001].

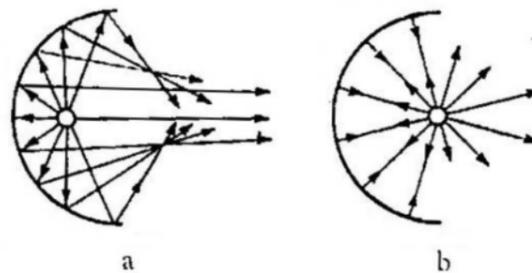
Terdapat 2 kategori kontur (garis bentuk) reflektor yakni konik (lingkaran, elips, parabola, dan hiperbola) dan umum. Kontur umum dapat dirancang menggunakan analisis persamaan matematika atau teknik *tracing* cahaya menggunakan komputer [Muhaimin, 2001].

Kontur parabola banyak digunakan untuk reflektor armatur untuk lampu-lampu pijar antara lain: lampu mobil, lampu infra merah, lampu kilat foto di samping lampu tabung dan lampu pelepasan gas lainnya. Posisi lampu pada reflektor parabola terhadap fokus parabola menentukan intensitas cahaya pada bidang pencahayaan seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 [Muhaimin, 2001].



Gambar 2.5. Efek posisi lampu terhadap fokus reflektor parabola.
a. terfokus b. menyebar c. kombinasi [Muhaimin, 2001].

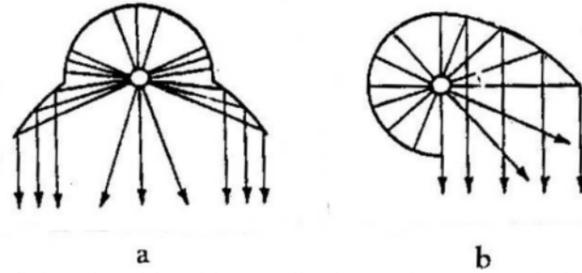
Kontur reflektor lingkaran dapat digunakan untuk memodifikasi arah pancaran cahaya dengan mengatur posisi lampu terhadap pusat lingkaran seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 jika lampu dipasang di antara pusat dengan reflektor akan dihasilkan cahaya pantulan (Gambar 2.6a) sedangkan bila lampu dipasang tepat di pusat lingkaran dihasilkan keuntungan optik (*optical gain*) seperti tampak pada gambar 2.6b. Keuntungan optik yang dimaksudkan adalah, bila tidak terjadi kerugian maka intensitas cahaya yang dipancarkan lampu ke reflektor akan dipantulkan kembali pada lampu sehingga intensitas cahaya yang dihasilkan sumber cahaya 2 kali lipat intensitas cahaya lampu.



Gambar 2.6. Arah cahaya yang dihasilkan reflektor lingkaran [Muhaimin, 2001].

Kontur reflektor dapat dibuat sebagai kombinasi parabola dengan lingkaran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Fokus parabola digunakan sebagai pusat lingkaran (Gambar 2.7a) sehingga ketika cahaya yang berasal dari lampu (pada

titik pusat lingkaran) sampai pada permukaan reflektor bola dipantulkan ke permukaan reflektor parabola sehingga tidak dihasilkan distribusi cahaya daerah pinggiran penerangan intensitasnya lebih tinggi dibanding bagian tengah. Gambar 2.7b menunjukkan reflektor yang digunakan untuk menerangi permukaan vertikal, misalnya: papan iklan.



Gambar 2.7. Reflektor kombinasi kontur lingkaran dengan parabola [Muhaimin, 2001].

2.4 Teori Pengerinan

2.4.1. Proses Pengerinan

Pengerinan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Biasanya kandungan air bahan yang dikeringkan tersebut dikurangi sampai suatu batas agar mikroba tidak tumbuh lagi di dalamnya [Taib, 1988].

Tujuan pengerinan adalah mengurangi kadar air bahan yang dikeringkan tersebut sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti. Dengan demikian bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan yang lama [Taib, 1988].

Peristiwa yang terjadi selama proses pengerinan meliputi dua proses yaitu

- a. Proses perpindahan panas, yaitu proses menguapkan air dari dalam bahan atau proses perubahan bentuk cair ke bentuk gas.
- b. Proses perpindahan massa, yaitu proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara [Taib, 1988].

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu bahan lebih rendah daripada suhu sumber panas yang diberikan. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi daripada

tekanan uap air di udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa.

Sebelum proses, tekanan uap air di bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas yang dialirkan melalui permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan sejalan dengan kenaikan suhu. Pada proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air dan terjadi pengeringan pada permukaan bahan, setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Saat kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaan, selanjutnya proses penguapan pada permukaan bahan berulang kembali. Setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara di sekitar bahan [Taib, 1988].

Proses pengeringan tidak dapat terjadi dalam waktu sekaligus. Jadi dalam proses pengeringan diperlukan adanya waktu istirahat (*tempering time*), dimana selama waktu tersebut seluruh air di dalam bahan akan mencapai keseimbangan [Taib, 1988].

Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan, makin tinggi energi yang disuplai dan makin cepat laju pengeringan. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat menyebabkan permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*case hardening*). Selanjutnya air di dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang. [Taib, 1998].

Pada proses pengeringan gabah yang baik, suhu permukaan akan naik perlahan dari suhu lingkungan 30 °C hingga 45 °C. Proses penguapan awalnya terjadi pada air yang terdapat di permukaan gabah. Pemanasan pada gabah yang meningkat hingga 45 °C mampu menguapkan air yang terdapat di bagian dalam gabah secara perlahan [Pura Barutama, 2003].

2.4.2. Laju Pengeringan

Proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan periode pengeringan dengan laju

pengeringan menurun. Kedua periode utama ini dibatasi oleh kadar air kritis (*critical moisture content*) [Taib,1988].

Pada periode pengeringan dengan laju tetap, bahan yang dikeringkan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan yang dikeringkan berlangsung penguapan dengan laju yang dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Pada pengeringan hasil pertanian, periode ini berlangsung dalam waktu yang singkat (Henderson dan Perry, 1995) [Taib, 1988].

Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selama pengeringan. Jumlah air terikat makin lama makin berkurang. Pada laju pengeringan menurun permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Bila dikeringkan maka bahan akan mengalami laju pengeringan tetap yang relatif singkat pada awal pengeringan. Periode ini kurang berarti bila dibandingkan terhadap pengeringan sempurna dan dalam perhitungan diabaikan. Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil dari pada kadar air kritis [Taib, 1988].

Kadar air kritis adalah kadar air terendah saat dimana laju air bebas dari dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari bahan. Pada biji-bijian, kadar air ketika pengeringan dimulai lebih kecil dari kadar air kritis. Dengan demikian pengeringan yang terjadi adalah pengeringan dengan laju menurun, walaupun terjadi pengeringan dengan laju tetap yang terjadi pada permulaan proses pengeringan. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi laju pengeringan menurun terjadi pada berbagai tingkat kadar air yang berbeda untuk setiap bahan (Simmond et al, 1953) [Taib, 1988].

Pengeringan dengan laju menurun dipengaruhi oleh keadaan bahan yaitu difusi air dari bahan ke permukaan dan pengambilan uap air dari permukaan. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu perpindahan dari dalam ke permukaan bahan dan perpindahan uap air dari permukaan ke udara sekeliling.

Laju pengeringan diketahui dengan mengukur kadar air awal dan mengukur kadar air setiap beberapa menit. Laju pengeringan dirumuskan sebagai berikut [SNI, 1998].

$$Rd = \frac{MC_i - MC_t}{t} \quad (2.8)$$

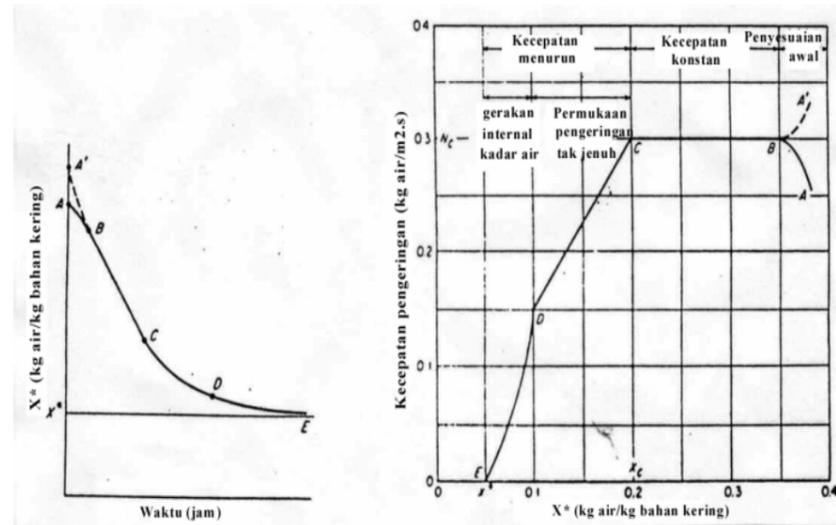
dimana :

R_d : laju pengeringan (%/menit)

MC_i : kadar air awal (%)

MC_t : kadar air saat t menit (%)

Tahapan-tahapan proses pengeringan [Taib, 1988]:



Gambar 2.8. Karakteristik kurva kadar air dan kecepatan pengeringan.

Keterangan gambar

A-B : Periode pemanasan

B-C : Periode laju pengeringan konstan

C : Kadar air kritis

C-D : Periode laju pengeringan menurun pertama

D-E : Periode laju pengeringan menurun kedua

2.4.3. Kadar Air Gabah

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan massa bahan yang dikeringkan. Dalam hal ini terdapat dua metode untuk menentukan kadar air bahan tersebut yaitu berdasarkan basis kering (*dry basis*) dan berdasarkan basis basah (*wet basis*).

Basis basah (*wet basis*) artinya berat air sebagai persentase dari berat gabah keseluruhan, sedangkan basis kering (*dry basis*) berat air sebagai persentase dari kadar bahan yang kering [Pura Barutama, 2003].

Kadar air gabah basis basah dirumuskan sebagai berikut [Brooker, 1992]:

$$MC_{wb} = \frac{M_w}{M_i} \times 100 \quad (2.9)$$

dimana :

MC_{wb} : kadar air gabah basis basah (%bb)

M_w : massa air yang terkandung dalam gabah (kg)

M_i : massa gabah sebelum dikeringkan (kg)

Kadar air gabah basis kering dirumuskan sebagai berikut [Brooker, 1992]:

$$MC_{db} = \frac{M_w}{M_d} \times 100 \quad (2.10)$$

dimana:

MC_{db} : kadar air basis kering (%bk)

M_d : massa kering konstan gabah (kg)

Konversi dari kadar air basis basah ke kadar air basis kering dapat dirumuskan sebagai berikut [Brooker, 1992] :

$$MC_{wb} = \frac{100 MC_{db}}{100 + MC_{db}} \quad (2.11)$$

$$MC_{db} = \frac{100 MC_{wb}}{100 - MC_{wb}} \quad (2.12)$$

dimana:

MC_{wb} : kadar air basis basah (%bb)

MC_{db} : kadar air basis kering (%bk)

Kadar kelembaban gabah juga mempengaruhi operasi penggilingan. Rentang kadar kelembaban optimal untuk mendapatkan hasil penggilingan padi yang maksimal dan meminimalkan beras yang retak adalah 13-14%. Untungnya, kadar kelembaban optimal untuk penggilingan adalah sama dengan kelembaban untuk penyimpanan dan pengawetan yang lain [Pura Barutama, 2003].

2.4.4. Aliran Udara

Pada proses pengeringan, udara berfungsi untuk mengambil uap di sekitar tempat penguapan, sebagai penghantar panas ke dalam bahan yang dikeringkan,

sebagai sumber zat pembakar, dan sebagai tempat membuang uap yang telah diambil dari tempat pengeringan (Setijatihartini, 1980) [Taib, 1988].

Aliran udara juga diperlukan pada proses pengeringan radiasi infra merah terutama untuk mendinginkan dinding mesin pengering dan terminal elektrik utama. Selain itu, aliran udara buang atau *exhaust airflow* digunakan pula untuk mengangkut asap, uap air dan gas-gas berbahaya [Mujumdar, 1995].

2.4.5 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan adalah hasil perbandingan antara panas yang secara teoritis dibutuhkan dengan penggunaan panas yang sebenarnya dalam pengeringan. Dengan mengetahui efisiensi alat pengering dapat dilakukan penyesuaian terhadap bahan yang akan dikeringkan misalnya untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan agar tercapai kadar air yang diinginkan.

Pemanfaatan panas untuk pengeringan dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut.

Q_l (panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan) diperoleh dari [Taib,1988]:

$$Q_l = m_v \cdot h_{fg} \quad (2.13)$$

dimana :

m_v : massa air yang harus diuapkan (kg)

h_{fg} : panas laten penguapan air (kJ/kg)

Panas radiasi yang dihasilkan oleh mesin pengering dapat diperoleh dari [Sarkar, 2002]:

$$Q_{rad} = I_{rad} \cdot A \cdot t \quad (2.14)$$

dimana :

I_{rad} : intensitas radiasi (W/m^2)

A : luas penampang radiasi (m^2)

t : waktu pengeringan (detik)

Untuk menentukan efisiensi pengeringan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_l}{Q_{rad}} \times 100\% \quad (2.15)$$

2.5 Biaya operasional pengeringan

Untuk menentukan biaya operasional pengeringan digunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{TDL \times P_{total} \times t}{M_i} \quad (2.16)$$

dimana :

- R : biaya operasional pengeringan (Rp/kg)
- TDL : tarif daya listrik PLN (Rp/kWh)
- P_{total} : daya listrik yang digunakan (kW)
- t : waktu pengeringan (jam)
- M_i : massa gabah yang dikeringkan (kg)

2.6 Kualitas Gabah dan Beras

Dampak pengeringan padi setelah panen secara garis besar dibedakan [Pura Barutama, 2003]:

a. Terhadap kualitas beras dan pendapatan petani

Merujuk data balai penelitian bioteknologi tanaman pangan 1995, bahwa pengaruh musim hujan dan pengeringan mempunyai hubungan dengan hampir semua persyaratan mutu beras seperti randemen giling, derajat sosoh, butir utuh, butir patah, kapur serta warna kuning dan rusak. Maka hampir dapat dipastikan jika panen padi terjadi pada musim hujan dan tidak segera dapat dikeringkan sesuai kriteria, maka tingkat kerusakan padi sangat tinggi, kualitas beras menurun dan harga menjadi rendah.

Secara kuantitatif harga padi kering panen petani antara Rp. 850,- s/d Rp. 900,-, padi kering giling petani Rp. 1200,-, padi kering DOLOG Rp. 1500,-, sedang randemen dari padi kering panen ke padi kering giling adalah 85%. Jika data tersebut dikalkulasikan maka penjualan padi kering giling oleh petani setelah dikurangi biaya pengeringan Rp. 25/kg, petani akan memperoleh tambahan pendapatan sampai 15%.

b. Terhadap masa penyimpanan

Salah satu faktor penting yang menyebabkan rusaknya hasil padi dalam pengolahan maupun penyimpanan adalah tidak diperhatikannya kadar air/tingkat kekeringan pada padi, akibatnya keselamatan padi simpanan umumnya terancam oleh kelompok organisme pengganggu. Bercampurnya organisme pengganggu dengan bahan dalam simpanan dapat menyebabkan berbagai masalah dan menimbulkan efek yang sangat merugikan. Akibat yang timbul serupa kerusakan bahan simpanan, baik bersifat kuantitatif maupun kualitatif.

BULOG dalam pedoman umum Pengadaan Gabah dan Beras Dalam Negeri tahun 2005 mensyaratkan secara khusus dan secara umum mengenai kualitas gabah dan beras, yakni sebagai berikut [BULOG, 2005]:

2.5.1 Kualitas Gabah

2.5.1.1 Persyaratan Umum

- a. Bebas hama dan penyakit yang hidup.

Ada/tidaknya kehadiran hama (serangga hama atau ulat) dan/atau penyakit (cendawan) yang hidup dan terdapat pada contoh gabah yang diperiksa secara visual..

- b. Bebas dari bau busuk, asam atau bau-bau asing lainnya.

Menyangkut bau yang dapat ditangkap oleh indera penciuman (hidung) pada contoh gabah yang diperiksa. Bau yang ditolak adalah bau busuk, asam atau bau-bau asing lainnya yang jelas berbeda dengan bau gabah yang sehat.

- c. Bebas dari tanda-tanda adanya bahan kimia yang membahayakan.

Sisa-sisa bahan kimia seperti pupuk, insektisida, fungisida dan bahan-bahan kimia lainnya yang membahayakan kesehatan/keselamatan manusia.

2.5.1.2 Persyaratan Khusus

Tabel 2.4. Kualitas Gabah [Sumber : BULOG, 2005]

Komponen Kualitas		Gabah Kering Giling	Gabah Kering Panen
Kadar Air	Maks.	14 %	25 %
Butir Hampa/Kotoran	Maks.	3 %	10 %
Butir Hijau/ Kapur	Maks.	5 %	10 %
Butir Kuning/ Rusak	Maks.	3 %	3 %
Butir Merah	Maks.	3 %	3 %

a. Gabah Kering Giling (GKG)

Adalah hasil tanaman padi yang telah dilepas dari tangkainya dengan cara perontokan, dikeringkan dan dibersihkan sampai memenuhi persyaratan kualitas seperti tercantum dalam tabel di atas.

b. Butir hampa/kotoran

Butir hampa adalah butir gabah yang tidak berkembang sempurna atau akibat serangan hama, penyakit atau sebab lain sehingga tidak berisi beras walaupun kedua tangkai sekamnya tertutup maupun terbuka. Butir gabah setengah hampa tergolong ke dalam butir hampa.

Kotoran adalah segala benda asing yang tidak tergolong gabah, misalnya: debu, butir tanah, butir pasir, batu kerikil, potongan kayu, potongan logam, tangkai padi, biji-biji lain serta bangkai serangga.

c. Butir kuning/rusak

Butir kuning adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna kuning, coklat atau kekuning-kuningan dan kuning rusak akibat proses perubahan warna yang terjadi selama perawatan.

Butir rusak adalah beras pecah kulit (gabah yang telah dikupas) dengan kondisi rusak seperti berwarna putih/bening, putih mengapur dan berwarna merah yang mempunyai bintik-bintik lain.

d. Butir hijau/mengapur

Butir hijau adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna kehijauan dan bertekstur lunak seperti kapur akibat dipanen terlalu muda (sebelum proses pemasakan buah sempurna), hal ini ditandai dengan patahnya butir-butir hijau tadi.

Butir mengapur adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna putih seperti kapur dan bertekstur lunak yang disebabkan oleh faktor fisiologis.

e. Butir merah

Butir merah adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang 25% atau lebih permukaannya diselaputi oleh kulit yang berwarna merah atau seluruh *endospermanya* berwarna merah.

2.5.2 Kualitas Beras

2.5.2.1 Persyaratan Umum

- Bebas hama dan penyakit yang hidup.
- Bebas dari bau busuk, asam atau bau-bau asing lainnya.
- Bebas dari tanda-tanda adanya bahan kimia yang membahayakan.
- Bersih dari campuran dedak dan katul.

2.5.2.2 Persyaratan Khusus

Tabel 2.5. Kualitas Beras [Sumber : BULOG, 2005]

Komponen Mutu	Kualitas Beras	Satuan
Derajat sosoh min.	95	%
Kadar air maks.	14	%
Beras kepala min.	78	%
Butir utuh min.	35	%
Butir patah maks.	20	%
Butir menir maks.	2	%
Butir merah maks.	3	%
Butir kuning/rusak maks.	3	%
Butir pengapur maks.	3	%
Benda asing maks.	0.02	%
Butir gabah maks.	1	Butir/100 g

Varietas maks.	lain	5	%
-------------------	------	---	---

a. Beras Giling

Beras utuh atau patah yang diperoleh dari proses penggilingan gabah hasil tanaman padi yang seluruh lapisan sekamnya terkelupas atau sebagian lembaga dan katul telah dipisahkan serta memenuhi persyaratan kuantitatif dan kualitatif seperti tercantum dalam persyaratan kualitas beras giling pengadaan dalam negeri.

b. Derajat sosoh

Adalah tingkat terlepasnya lapisan katul dan lembaga dari butir beras.

Derajat sosoh 100 % (*full slyp*) adalah tingkat terlepasnya seluruh lapisan katul, lembaga dan sedikit *endosperm* dari butir beras.

Derajat sosoh 95 % adalah tingkat terlepasnya sebagian besar lapisan katul, lembaga dan sedikit *endosperm* dari butir beras sehingga sisa yang belum terlepas sebesar 5 %.

c. Beras kepala

Merupakan hasil penjumlahan butir beras utuh dan butir patah besar.

d. Butir utuh

Butir beras, baik sehat maupun cacat yang utuh ($10/10$ bagian dari ukuran panjang rata-rata butir beras utuh) tanpa adanya bagian yang patah.

e. Butir patah besar/butir kepala

Butir patah baik sehat maupun cacat yang mempunyai ukuran lebih besar atau sama dengan $6/10$ bagian dari ukuran panjang rata-rata butir beras utuh yang dapat melewati permukaan *indented plate* dengan persyaratan ukuran lubang 4.2 mm.

f. Butir patah

Butir beras patah baik sehat maupun cacat yang mempunyai ukuran lebih kecil dari $6/10$ bagian panjang rata-rata beras utuh tetapi lebih besar dari $2/10$ bagian panjang rata-rata beras utuh.

g. Butir menir

Butir beras patah baik sehat maupun cacat yang mempunyai ukuran lebih kecil atau sama dengan $\frac{2}{10}$ bagian panjang rata-rata beras utuh. Butir ini diidentifikasi dengan ayakan menir berdiameter lubang antara 1,8 - 2 mm.

h. Butir merah

Butir merah adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas kulitnya) yang 25 % atau lebih permukaannya diselaputi oleh kulit yang berwarna merah atau seluruh *endospermanya* berwarna merah.

i. Butir kuning/rusak

Butir kuning adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna kuning, coklat atau kekuning-kuningan dan kuning rusak akibat proses perubahan warna yang terjadi selama perawatan.

Butir rusak adalah beras pecah kulit (gabah yang telah dikupas) dengan kondisi rusak seperti berwarna putih/bening, putih mengapur dan berwarna merah yang mempunyai bintik-bintik lain.

j. Butir hijau/mengapur

Butir hijau adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna kehijauan dan bertekstur lunak seperti kapur akibat dipanen terlalu muda (sebelum proses pemasakan buah sempurna), hal ini ditandai dengan patahnya butir-butir hijau tadi.

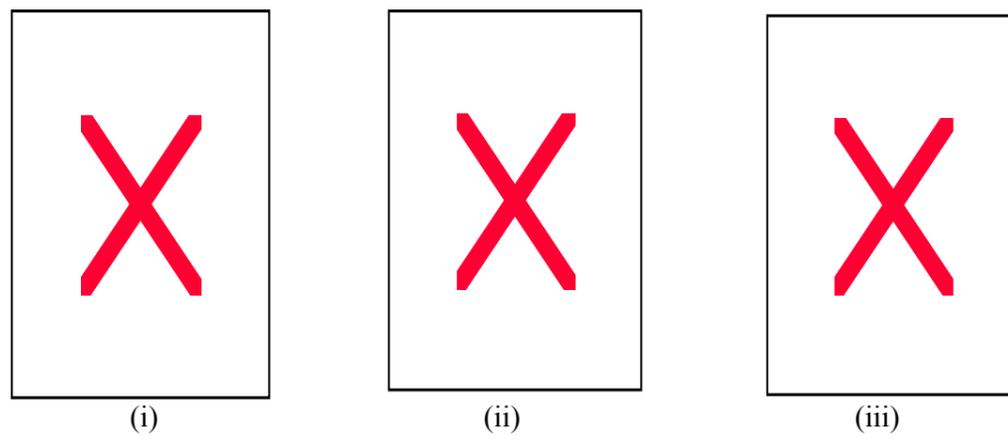
Butir mengapur adalah butir beras pecah kulit (setelah gabah dikupas) yang berwarna putih seperti kapur dan bertekstur lunak yang disebabkan oleh faktor fisiologis.

k. Butir ketan

Adalah butir beras yang berasal dari varietas *Oryzae Sativa L Glutinosa*. Butir ketan yang berwarna putih, utuh yang tercampur dalam beras dikategorikan sebagai butir beras baik, sedangkan butir beras ketan putih yang tidak utuh dikategorikan sebagai butir kapur. Untuk butir beras ketan hitam dikategorikan sebagai benda asing.

l. Campuran varietas lain

Adalah butir beras lain yang bukan merupakan varietas dominan beras yang diperiksa.



Gambar 2.9. Bentuk-bentuk butir beras (i) beras utuh, (ii) beras patah besar, (iii) beras patah [Marwadi, 2004].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus-November 2005 bertempat di Laboratorium Listrik dan Elektronika Universitas Sebelas Maret Surakarta.

3.2. Bahan Penelitian

Padi jenis IR 64 yang diambil dari daerah kantong pertanian di wilayah Surakarta.

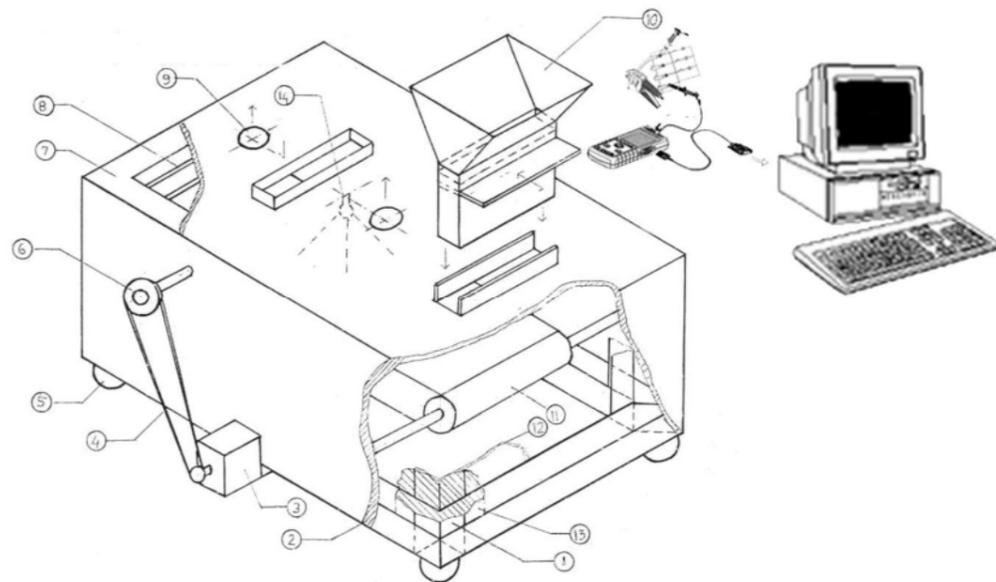
3.3. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mesin pengering gabah radiasi infra merah dengan mekanisme konveyor yang memiliki komponen-komponen sebagai berikut :
 - a. *Exhaust fan*

- b. Lampu infra merah
 - c. *Thermocontroller*
 - d. Pengatur aliran udara *exhaust fan*
 - e. Pengatur daya lampu infra merah
 - f. Motor penggerak
 - g. Pengatur RPM motor penggerak
 - h. Reflektor lampu infra merah
2. *Anemometer*
 3. *Pyranometer*
 4. *Moisture analyzer*
 5. *Desticator*
 6. *Power Quality Analyzer Fluke 43B*
 7. *Higrometer*
 8. *Termometer*
 9. *Stopwatch*

3.4. Desain Alat Uji Penelitian

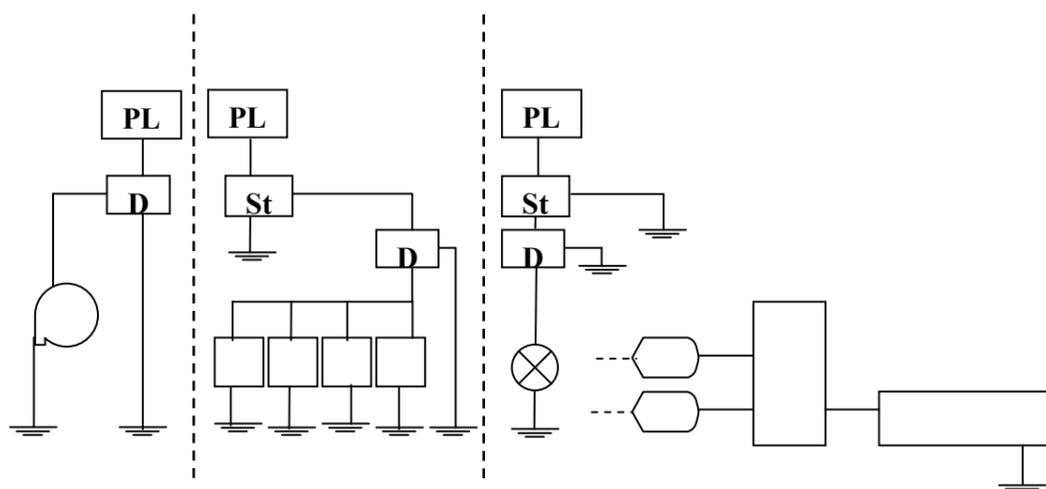


1. Rangka tegak
2. Dinding Luar
3. Motor Listrik Penggerak
4. Sabuk Transmisi
5. Roda Pendukung
6. Puli Transmisi
7. Rangka Datar
8. Rangka Pendukung
9. Kipas Buang (*exhaust fan*)
10. Pengumpan
11. Rol Konveyor
12. Dinding Dalam
13. Isolator
14. Lampu Infra Merah
15. Komputer
16. *Power Quality Analyzer*

3.5. Mekanisme Kerja Alat Uji

Sumber energi panas dari mesin pengering ini adalah radiasi yang dipancarkan oleh lampu infra merah. Radiasi infra merah ini saat mengenai bahan akan langsung diserap oleh bahan tersebut sehingga langsung terjadi kenaikan temperatur bahan untuk selanjutnya terjadilah proses pengeringan. Intensitas yang dikeluarkan lampu infra merah dikontrol dengan rangkaian *electric lamp dimmer* sedangkan konsumsi daya yang dibutuhkan dicatat dengan *power quality analyzer*.

Gambar 3.2 menunjukkan sistem kontrol yang digunakan pada alat uji. Gambar 3.2 (i) adalah skema kontrol untuk motor penggerak konveyor sedangkan gambar 3.2 (ii) adalah skema untuk pengatur aliran udara buang/*exhaust airflow control*. Pada gambar 3.2 (iii) digambarkan bahwa dalam praktiknya konsumsi daya lampu infra merah dapat direkam menggunakan *software power quality analyzer* yang sudah *diinstall* dalam komputer.



Gambar 3.2 Skema sistem kontrol alat uji penelitian (i) pengaturan motor penggerak (ii) pengaturan aliran udara buang (iii) pengaturan daya lampu

Keterangan gambar :

PLN	: Daya listrik dari PLN	D	: <i>Dimmer/voltage regulator</i>
M	: Motor listrik	St	: <i>Voltage stabilizer</i>
F	: <i>Exhaust fan</i>	I	: Sensor pengukur arus listrik
V	: Sensor pengukur tegangan listrik	Pw	: <i>Power quality analyzer</i>
Compt	: Komputer		

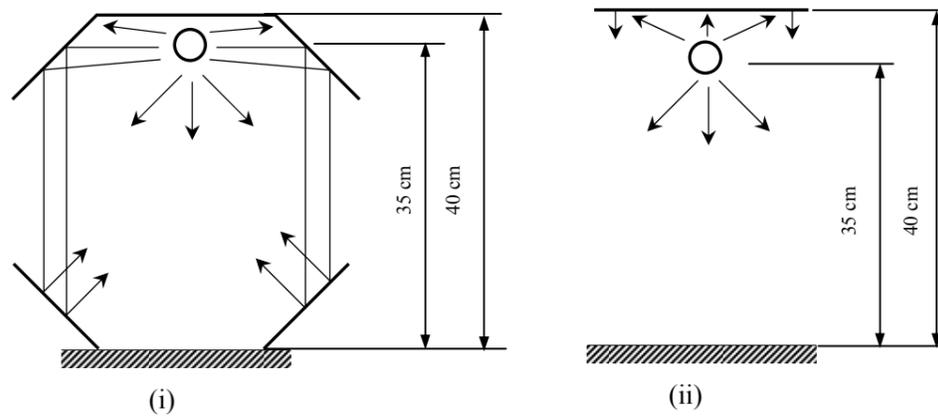
Temperatur pengeringan dikendalikan oleh rangkaian *thermocontroller* yang didukung dengan *magnetic contactor* dan *thermocopel*. Uap air yang diproduksi selama pengeringan secara kontinu dikeluarkan melalui *exhaust fan* yang kecepatan aliran udaranya diatur dengan *airflow control* dan *anemometer* sedangkan kecepatan konveyor dikendalikan dengan pengatur RPM motor.

Saat semua sistem kontrol sudah stabil sesuai keperluan maka proses pengeringan dapat mulai dilaksanakan sesuai metode penelitian. Lampu infra merah akan memanaskan bahan secara *intermitten*, hal ini karena saat terjadi kenaikan temperatur di atas temperatur yang diijinkan, *thermocopel* akan memberikan sinyal kepada *thermocontroller* untuk memutuskan arus listrik dengan didukung *magnetic contactor*.

3.6. Sketsa reflektor yang digunakan

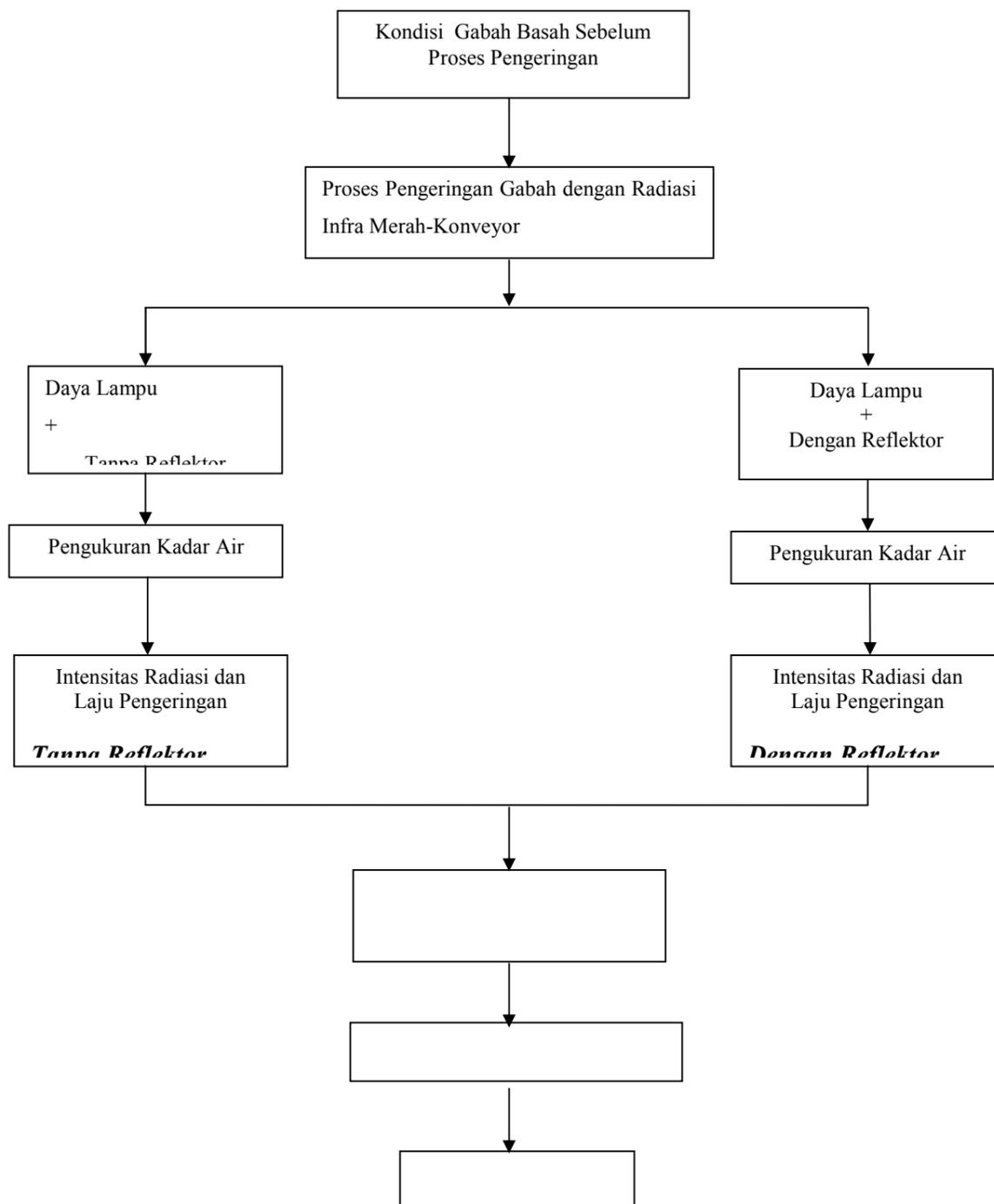
Gambar 3.3 menunjukkan jenis reflektor infra merah yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 3.3 (i) adalah sketsa reflektor jenis *planar* kombinasi dengan

sudut pantul 45° dan gambar 3.3 (ii) memperlihatkan sketsa reflektor jenis *planar*. Kedua jenis reflektor menggunakan material kaca cermin dengan indeks reflektansi sampai dengan 0,9.



Gambar 3.3 Sketsa reflektor yang digunakan pada alat uji penelitian (i) reflektor *planar* dengan kombinasi sudut pantul 45° (ii) reflektor *planar*

3.7. Kerangka Pemikiran



Gambar 3.4 Diagram alir kerangka pemikiran jika ditambahkan reflektor infra merah

3.8. Desain Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan sesuai dengan desain penelitian pada tabel 3.1. Variasi percobaan dilaksanakan dengan memvariasikan daya lampu baik pada proses *preheating* ataupun *mainheating*. Daya lampu dapat diketahui dan diatur menggunakan *electric lamp dimmer* dan *power quality analyzer*.

Tabel 3.1. Desain pengujian pada mesin pengering gabah radiasi infra merah-konveyor.

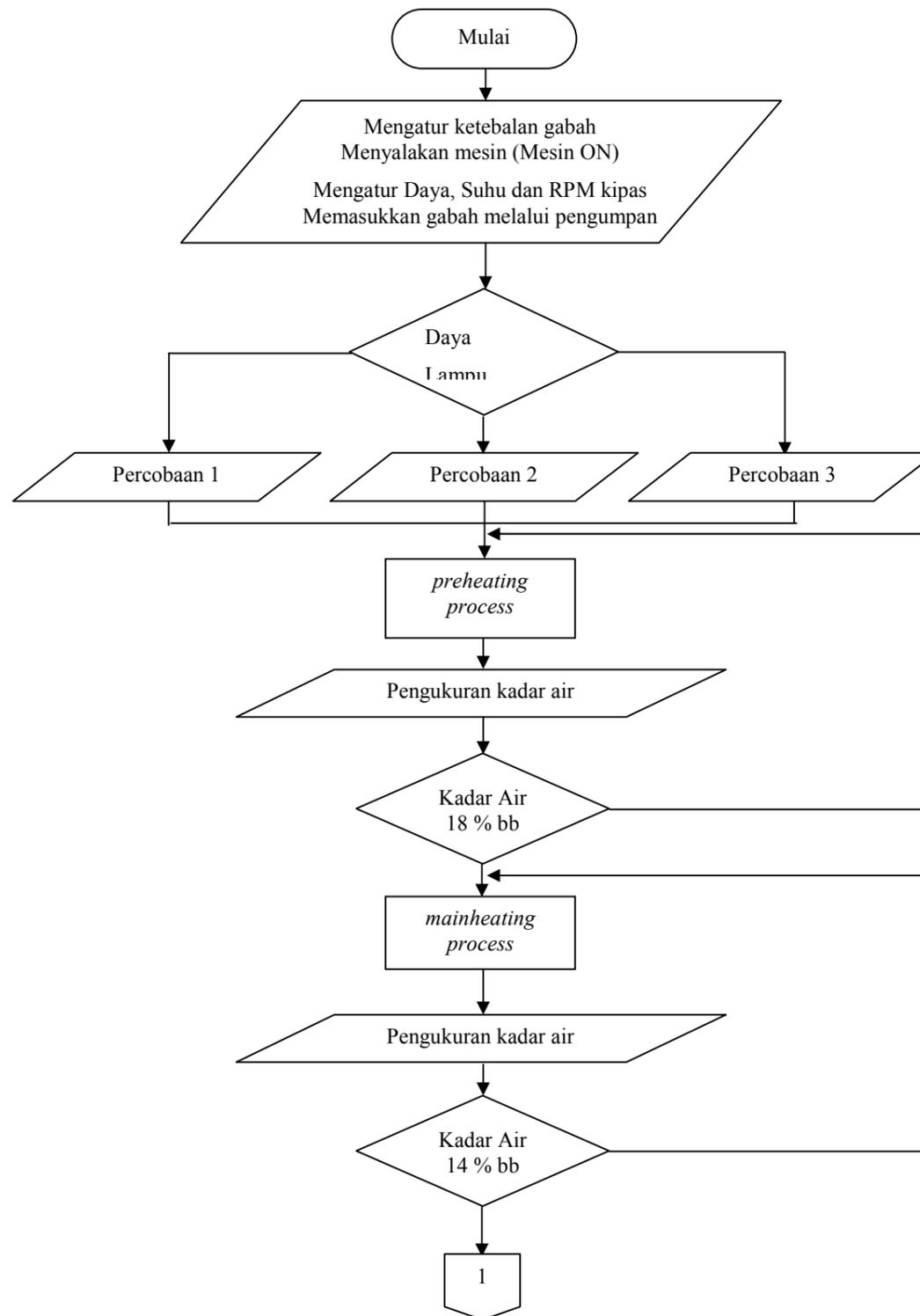
Variasi percobaan	Daya lampu infra merah dan temperatur kerja		Kondisi percobaan
	<i>PREHEATING PROCESS</i>	<i>MAINHEATING PROCESS</i>	
1	Temperatur kerja = 60 °C Daya lampu 0,260 kW [medium]	Temperatur kerja = 45 °C Daya lampu 0,230 kW [low]	Tanpa Reflektor/awal
			Reflektor <i>Planar</i>
			Reflektor Kombinasi
2	Temperatur kerja = 60 °C Daya lampu 0,260 kW [medium]	Temperatur kerja = 45 °C Daya lampu 0,260 kW [medium]	Tanpa Reflektor/awal
			Reflektor <i>Planar</i>

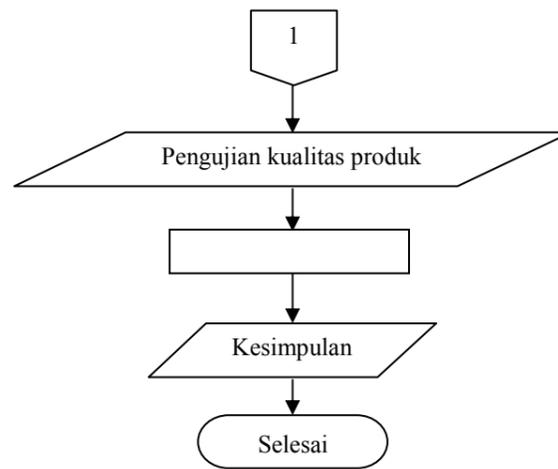
			Reflektor Kombinasi
3	Temperatur kerja = 60 °C Daya lampu 0,260 kW [medium]	Temperatur kerja = 45 °C Daya lampu 0,290 kW [high]	Tanpa Reflektor/awal
			Reflektor <i>Planar</i>
			Reflektor Kombinasi

Preheating proses dilakukan untuk menurunkan kadar air gabah sampai dengan 18 % basis basah. Sesuai dengan dasar teori, proses ini diharapkan mampu mengurangi waktu total pengeringan dan dilakukan pada suhu pengeringan 60 °C. *Mainheating process* dilaksanakan setelah tercapai kadar air 18 % basis basah dengan suhu pengeringan 45 °C.

Pada daya lampu 0,230 kW lampu infra merah menyala redup, pada daya lampu 0,260 kW lampu infra merah menyala sedang dan pada daya lampu 0,290 kW lampu infra merah menyala paling terang. Pada percobaan nantinya daya lampu akan dijaga konstan agar menyala redup, sedang dan sangat terang sehingga dengan adanya penambahan reflektor didapatkan perbedaan intensitas radiasi yang signifikan, hal inilah yang menjadi titik berat penelitian.

3.9. Cara Kerja





Gambar 3.5 Diagram alir penentuan kadar air gabah selama pengeringan

Keterangan

1. Mengatur ketebalan pengeringan setebal 2,5 cm.
2. Mencatat temperatur, kelembaban udara lingkungan serta kadar air awal gabah.
3. Menghidupkan mesin kemudian mengatur daya lampu [pasangan variasi daya lampu 1, terdapat pada tabel 3.1].
4. Mengatur *thermocontroller* pada posisi konstan 60 °C (*preheating process*) dan kecepatan aliran udara adalah 1,25 m/detik.
5. Memasukkan gabah melalui *hopper*.
6. Menjalankan konveyor sampai setengah ruang pertama penuh dengan gabah bersamaan dengan itu *stopwatch* dinyalakan, kemudian konveyor dihentikan selama 5 menit.
7. Menjalankan konveyor sampai ruang pertama penuh dengan gabah bersamaan dengan itu *stopwatch* dinyalakan, kemudian konveyor dihentikan selama 5 menit.
8. Mengambil *sample* setelah pengeringan berjalan selama 10 menit kemudian *sample* dimasukkan ke dalam *desticator* selama 3 menit.
9. Mengukur kadar air *sample* menggunakan *moisture analyzer*.
10. Menjalankan konveyor sampai setengah ruang kedua penuh dengan gabah bersamaan dengan itu *stopwatch* dinyalakan, kemudian konveyor dihentikan selama 5 menit.

11. Menjalankan konveyor sampai ruang kedua penuh dengan gabah bersamaan dengan itu *stopwatch* dinyalakan, kemudian konveyor dihentikan selama 5 menit.
12. Mengambil *sample* setelah pengeringan berjalan selama 20 menit kemudian *sample* dimasukkan ke dalam *desticator* selama 3 menit.
13. Mengukur kadar air *sample* menggunakan *moisture analyzer*.
14. Memasukkan gabah melalui *hopper* kembali dan mengulangi langkah 6-13 sampai tercapai kadar air 18 % basis basah.
15. Mengatur *thermocontroller* pada posisi konstan 45 °C (*mainheating process*).
16. Mengulangi langkah 5-13 sampai tercapai kadar air 14 % basis basah.
17. Mengulangi langkah 2-16 pada pasangan daya lampu 2 dan 3 [tabel 3.1].
18. Memasang **reflektor planar** kemudian mengulangi langkah 2-16 untuk pasangan daya lampu 1, 2 dan 3 [tabel 3.1].
19. Memasang **reflektor planar kombinasi sudut pantul 45⁰** kemudian mengulangi langkah 2-16 untuk pasangan daya lampu 1, 2 dan 3 [tabel 3.1].

Pengukuran daya listrik pengeringan

1. Memasang *probe/test lead power quality analyzer* untuk pengukuran arus listrik dan tegangan listrik.
2. Memasang kabel optik untuk mentransfer data-data dari *power quality analyzer* ke dalam komputer setelah sebelumnya komputer tersebut ditambahkan *software* untuk *power quality analyzer*.
3. Memasang *power adapter power quality analyzer* sehingga saat alat tersebut bekerja, pengisian baterainya juga berjalan.
4. Memasang *test lead/probe power quality analyzer* pada panel kabel listrik yang mensuplai lampu infra merah. Pemasangan *test lead/probe* untuk pengukuran tegangan adalah paralel dengan listrik yang masuk ke dalam lampu infra merah. Pengukuran arus listrik dilakukan dengan memasukkan kabel arus listrik yang bersangkutan ke dalam *clamp test lead*.
5. Menyalakan komputer dan mengaktifkan tampilan *Flukeview software of power quality analyzer* kemudian *power quality analyzer* dinyalakan, setelah itu *port connect data transfer* diaktifkan melalui komputer sesuai petunjuk buku manual

alat tersebut. Pada saat itu, *power quality analyzer* akan mulai melakukan perekaman terhadap daya listrik yang digunakan.

6. Menyalakan *electric lamp dimmer* sehingga lampu infra merah menyala.
7. Mengatur daya lampu sesuai dengan keperluan dengan menyetel *potensiometer* dan mengamati daya lampu yang terukur pada *power quality analyzer* dan pada layar monitor komputer.
8. Menghentikan proses perekaman dengan komputer setelah proses pengeringan selesai dilaksanakan.
9. Menyimpan grafik yang telah terekam pada komputer.

Pengukuran Kadar Air Gabah dengan *Moisture analyzer*

1. Mengatur kedudukan alat/*Levelling moisture analyzer* dengan mengatur kedua tungkai depan dengan memutarnya sehingga seimbang dengan indikator gelembung udara tepat ditengah lingkaran merah.
2. Memposisikan saklar *moisture analyzer* pada posisi OFF sebelum kabel *power* ditancapkan ke sumber tegangan, kemudian memposisikan saklar pada posisi ON setelah kabel *power* disambungkan ke sumber tegangan .
3. Membuka tutup *moisture analyzer* dengan mengangkat *grips of heater cover*.
4. Menyusun *breeze break ring, pan support, pan handle, sample pan*, pada *moisture analyzer*.
5. Prosedur pengukuran menggunakan *quick mode operation*.
6. Menggunakan temperatur pengeringan 200 °C.
7. Menekan tombol *reset* untuk menunjukkan harga nol gram sebelum penimbangan sampel.
8. Menimbang *sample* yang diletakkan pada *sample pan* sebanyak 5 gram.
9. Menyebarkan/meratakan *sample* supaya tidak terjadi tumpukan.
10. Menutup *moisture analyzer* dengan menurunkan *grips of heater cover*.
11. Memulai pengeringan dengan menekan tombol *start*.
12. Mencatat hasil kadar air yang terdapat pada layar *moisture analyzer* setelah pengukuran berhenti secara otomatis.
13. Membuka tutup *moisture analyzer* kemudian mengangkat *sample pan* dengan *pan handle*.

14. Mengganti *sample pan* untuk pengukuran sampel berikutnya.

Pengukuran Kualitas Beras

1. Mengambil gabah secara acak ± 1 kg.
2. Mengambil contoh analisis ± 100 gram dengan menggunakan *Sample Mixer Divider*.
3. Menggiling gabah tersebut dengan *Grain Analyzer Tester* sampai mencapai derajat sosoh 95%.
4. Menimbang beras yang dihasilkan.
5. Mengayak beras tersebut menggunakan ayakan menir standar Perum BULOG yang mempunyai diameter 1,8 mm dan mempunyai bak penampung di bawahnya.
6. Memisahkan butir-butir patah dan butir-butir utuhnya dengan menggunakan alat *indented plate* standar Perum BULOG (ukuran lubang 4,2 mm) dari sisa contoh analisis yang tidak dapat lolos dari ayakan.
7. Memeriksa lagi butir-butir yang lolos (tertinggal pada lekukan ayakan), apakah termasuk kategori butir patah.
8. Memilih kembali dan memisahkan antara butir utuh dan butir patah besar dari butir-butir yang tidak lolos.
9. Menimbang masing-masing golongan butir yang terkumpul (menir, patah, patah besar, dan utuh) dan memprosentasekan terhadap berat asal contoh analisis (berat beras hasil gilingan).
10. Dari seluruh contoh analisis, memisahkan butir kuning/rusak dan hijau/mengapur, kemudian menimbang dan memprosentasekannya terhadap berat asal.

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1 DATA

Data-data yang digunakan untuk analisis penelitian yang telah dilakukan meliputi data pengujian performa alat uji, data penurunan kadar air saat proses pengeringan dan data pengujian kualitas beras produk pengeringan.

4.1.1 Data Performa Alat Uji

Data-data performa alat uji diperoleh dari pengukuran kondisi alat uji meliputi penggunaan daya listrik, pengaturan temperatur kerja dan pengukuran intensitas radiasi yang dipancarkan saat mesin belum mendapatkan beban pengeringan (mesin kosong) dengan jarak penyinaran lampu konstan 0,35 m tegak lurus terhadap konveyor. Data-data yang diperoleh dari pengujian performa alat uji ditampilkan pada tabel 4.1, 4.2 dan tabel 4.3.

Tabel 4.1 menampilkan data performa alat uji dalam kondisi normal atau tanpa ada penambahan/modifikasi reflektor.

Tabel 4.1. Performa alat uji awal/tanpa reflektor

Daya Lampu (W)	Intensitas Radiasi (Wm^{-2})							
	230	240	250	260	270	280	290	300
Temp. 45 ($^{\circ}C$)	900	942	1010	1100	1168	1250	1300	1368
Temp.50 ($^{\circ}C$)	911	951	1026	1113	1173	1262	1320	1372
Temp.60 ($^{\circ}C$)	929	965	1041	1132	1184	1273	1341	1386
Temp.65 ($^{\circ}C$)	937	1002	1084	1145	1233	1287	1355	1418

Data-data pengujian performa alat uji saat reflektor *planar* telah dipasang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Performa alat uji dengan reflektor *planar*

Daya Lampu (W)	Intensitas Radiasi (Wm^{-2})							
	230	240	250	260	270	280	290	300
Temp. 45 ($^{\circ}C$)	910	958	1028	1126	1211	1276	1363	1403
Temp.50 ($^{\circ}C$)	919	977	1035	1139	1228	1285	1371	1418
Temp.60 ($^{\circ}C$)	924	983	1068	1180	1237	1295	1378	1431
Temp.65 ($^{\circ}C$)	933	1020	1106	1187	1246	1355	1386	1438

Tabel 4.3 menampilkan performa alat uji dalam kondisi reflektor *planar* kombinasi sudut pantul 45 °C terpasang.

Tabel 4.3. Performa alat uji dengan reflektor kombinasi

Daya Lampu (W)	Intensitas Radiasi (Wm ⁻²)							
	230	240	250	260	270	280	290	300
Temp. 45 (°C)	1010	1050	1120	1205	1303	1340	1420	1468
Temp.50 (°C)	1018	1075	1158	1220	1310	1362	1423	1472
Temp.60 (°C)	1030	1086	1175	1242	1315	1378	1430	1485
Temp.65 (°C)	1045	1125	1186	1288	1325	1403	1455	1490

4.1.2 Data Percobaan

Data percobaan yakni tabel 4.4 adalah data penurunan kadar air saat alat uji melakukan pengeringan sesuai desain penelitian. Harga kandungan kadar air yang ditampilkan adalah nilai rata-rata dari 3 titik pengambilan data sedangkan data-data selengkapnya dilampirkan pada laporan ini.

Tabel 4.4. Penurunan kadar air rata-rata tiap variasi percobaan

Waktu (menit)	Kondisi sistem-Variasi percobaan								
	Tanpa reflektor			Reflektor <i>Planar</i>			Reflektor Kombinasi		
	1 (%bb)	2 (%bb)	3 (%bb)	1 (%bb)	2 (%bb)	3 (%bb)	1 (%bb)	2 (%bb)	3 (%bb)
0	20.30	20.30	20.30	20.31	20.33	20.33	20.32	20.34	20.31
10	19.52	19.48	19.54	19.50	19.55	19.51	19.49	19.51	19.48
20	18.76	18.71	18.76	18.72	18.75	18.72	18.67	18.71	18.66
30	18.11	17.94	18.04	17.91	17.96	17.96	17.90	17.98	17.87
40	17.41	17.25	17.36	17.43	17.17	17.27	17.32	17.27	17.21
50	17.00	16.77	16.79	16.99	16.66	16.69	16.86	16.70	16.61
60	16.63	16.27	16.34	16.59	16.19	16.16	16.44	16.19	16.05
70	16.33	15.91	15.98	16.24	15.81	15.75	16.05	15.77	15.64
80	16.05	15.61	15.58	15.93	15.47	15.37	15.73	15.40	15.27
90	15.81	15.31	15.25	15.70	15.22	15.09	15.47	15.15	15.00
100	15.55	15.04	14.95	15.47	14.98	14.82	15.23	14.92	14.72
110	15.35	14.83	14.64	15.28	14.78	14.61	15.00	14.71	14.50
120	15.15	14.53	14.35	15.07	14.59	14.43	14.79	14.55	14.30
130	14.95	14.32	14.16	14.85	14.44	14.28	14.59	14.39	14.12
140	14.76	14.15	14.01	14.66	14.27	14.14	14.40	14.25	13.97
150	14.57	14.00		14.47	14.12	14.02	14.23	14.13	
160	14.35			14.28	14.01	13.91	14.08	14.01	
170	14.19			14.12	13.98		13.97	13.89	
180	14.03			13.97					

4.1.3 Data Pengujian Kualitas

Data-data pengujian kualitas beras untuk tiap-tiap variasi percobaan ditampilkan pada tabel 4.5 untuk kondisi sistem tanpa penggunaan reflektor, tabel 4.6 untuk reflektor *planar* dan tabel 4.7 untuk reflektor kombinasi. Selanjutnya data tersebut akan dibandingkan dengan standar kualitas beras yang digunakan BULOG yang telah diuraikan di Bab II laporan ini.

Tabel 4.5 menampilkan hasil pengujian kualitas beras saat pengeringan dilakukan dalam kondisi alat uji normal atau tanpa ada penambahan/modifikasi reflektor.

Tabel 4.5. Hasil pengujian kualitas beras tiap variasi percobaan tanpa reflektor

HASIL TES (%)	Tanpa Reflektor		
	Percb. 1	Percb.2	Percb. 3
Kadar Air	11.89	12.00	12.22
Derajat Sosoh	95.00	95.00	95.00
Beras Kepala	76.54	77.25	78.69
Butir Utuh	41.23	55.52	43.64
Butir Kepala	35.31	21.73	35.05
Butir Patah	14.23	10.64	14.61
Menir	5.68	8.86	3.44
Butir Kapur	2.37	1.81	2.23
Butir Kuning/Rusak	1.18	1.44	1.03

Hasil pengujian kualitas produk pengeringan yang dilakukan saat reflektor *planar* telah dipasang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil pengujian kualitas beras variasi percobaan dengan reflektor *planar*

HASIL TES (%)	Reflektor <i>Planar</i>		
	Percb. 1	Percb.2	Percb. 3
Kadar Air	12.11	12.32	12.45
Derajat Sosoh	95.00	95.00	95.00
Beras Kepala	76.73	77.59	79.02
Butir Utuh	52.96	52.74	44.67
Butir Kepala	23.77	24.85	34.35
Butir Patah	16.31	14.22	14.02
Menir	5.28	5.42	3.18
Butir Kapur	0.84	2.35	2.02
Butir Kuning/Rusak	0.84	0.42	1.76

Tabel 4.7 menampilkan hasil pengujian kualitas produk pengeringan yang dilakukan saat alat uji terpasang reflektor *planar* kombinasi sudut pantul 45 °C.

Tabel 4.7. Hasil pengujian kualitas beras variasi percobaan dengan reflektor kombinasi

HASIL TES (%)	Reflektor Kombinasi		
	Percb. 1	Percb.2	Percb. 3
Kadar Air	12.33	12.18	12.08
Derajat Sosoh	95.00	95.00	95.00
Beras Kepala	81.22	82.41	86.08
Butir Utuh	68.36	69.65	59.68
Butir Kepala	12.86	12.76	26.40
Butir Patah	12.76	11.20	8.57
Menir	3.25	4.43	2.10
Butir Kapur	2.18	1.20	2.02
Butir Kuning/Rusak	0.59	0.76	1.23

 = di bawah standar BULOG 2005

 = di atas standar BULOG 2005

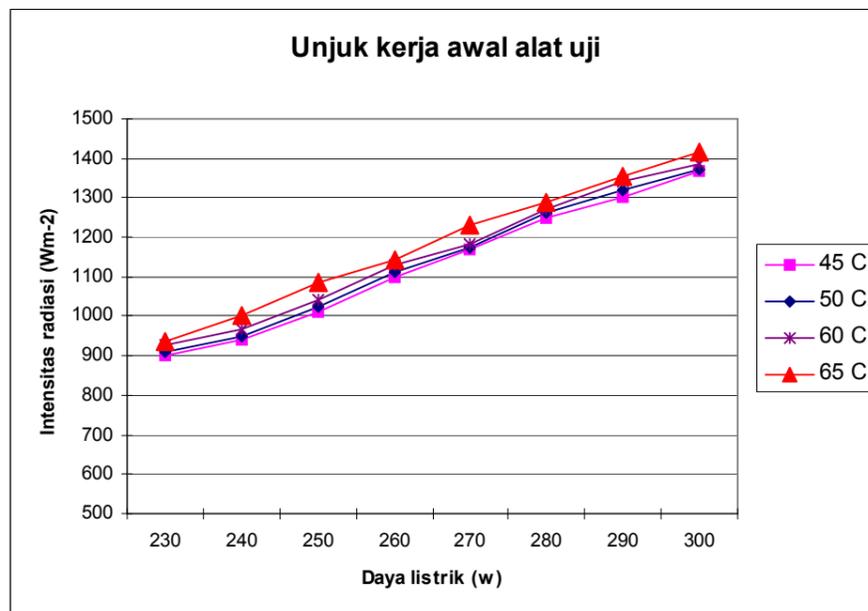
4.2 ANALISIS

4.2.1 Analisis Data Pengujian

a. Unjuk kerja awal alat uji

Pada pengujian unjuk kerja alat uji, daya lampu diatur dengan *electric lamp dimmer* dan diukur menggunakan *power quality analyzer*. Temperatur ruang pengering diatur dengan *thermocontroller* dan intensitas radiasi didapatkan dari pengukuran menggunakan *pyranometer*.

Gambar 4.1 menunjukkan kurva unjuk kerja alat uji yang digunakan pada penelitian. Kurva tersebut menggambarkan adanya hubungan antara daya listrik yang dikonsumsi lampu infra merah, temperatur kerja dan intensitas radiasi yang dihasilkan.



Gambar 4.1. Kurva unjuk kerja awal alat uji tanpa beban pengeringan dan tanpa reflektor

Dari kurva di atas dapat diketahui bahwa pada daya listrik yang sama namun pada temperatur kerja yang semakin tinggi ternyata intensitas radiasi yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini dapat dipahami karena dengan kenaikan temperatur kerja, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat temperatur kerja juga semakin meningkat. Kondisi aktual di lapangan menunjukkan waktu tempuh untuk mencapai temperatur kerja dengan daya listrik dijaga konstan berturut-turut untuk temperatur 45 °C, 50 °C, 60 °C, 65 °C adalah 8 detik, 10 detik, 12 detik dan 13 detik.

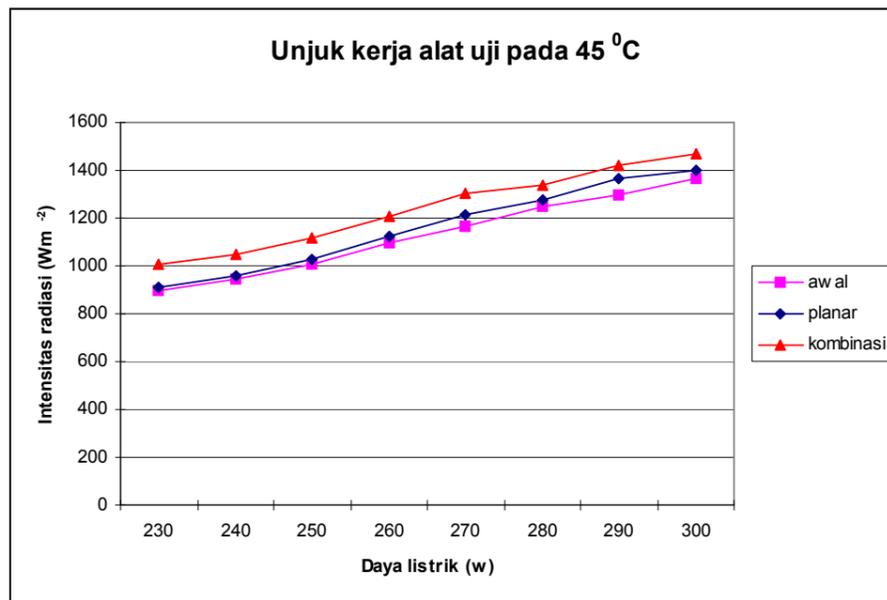
Apabila temperatur kerja dijaga konstan, ternyata seiring dengan kenaikan daya listrik terjadi kenaikan intensitas radiasi. Hal ini dapat dipahami karena dengan masukan energi listrik yang semakin besar maka energi yang dilepaskan lampu infra merah berupa intensitas radiasi juga semakin besar. Ini terjadi karena dengan masukan daya listrik yang semakin besar, filamen yang ada pada lampu infra merah akan berpijar lebih terang sehingga terjadi

kenaikan temperatur pada filamen. Artinya kalor radiasi yang dilepaskan juga semakin tinggi.

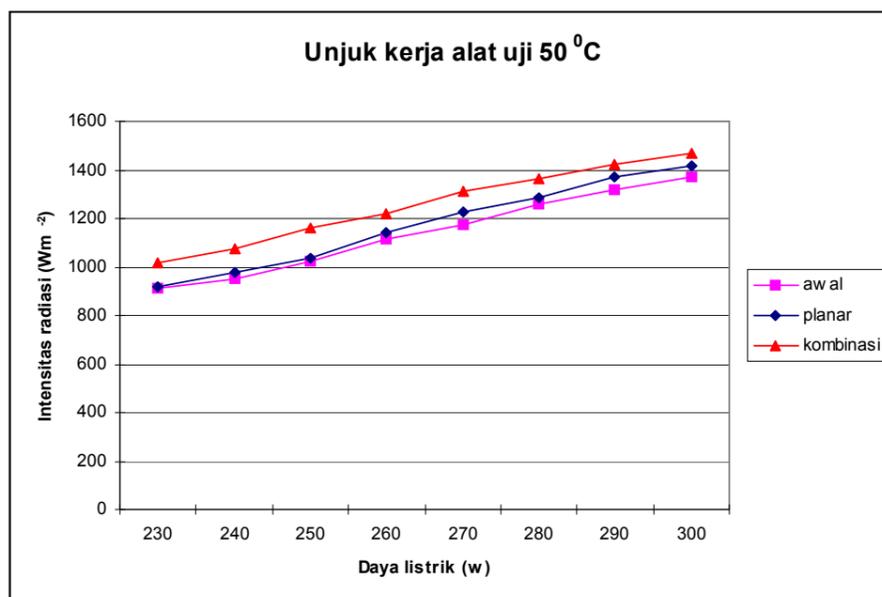
Oleh karena itu dimungkinkan penambahan performa dengan menggunakan reflektor. Tujuan yang ingin dicapai ialah dengan daya listrik yang sama atau lebih rendah didapatkan intensitas radiasi yang lebih tinggi.

b. Pengaruh reflektor terhadap unjuk kerja alat uji

Unjuk kerja alat mengalami perubahan setelah reflektor digunakan, ini dapat dilihat pada data pengujian performa di depan dan gambar 4.2 berikut

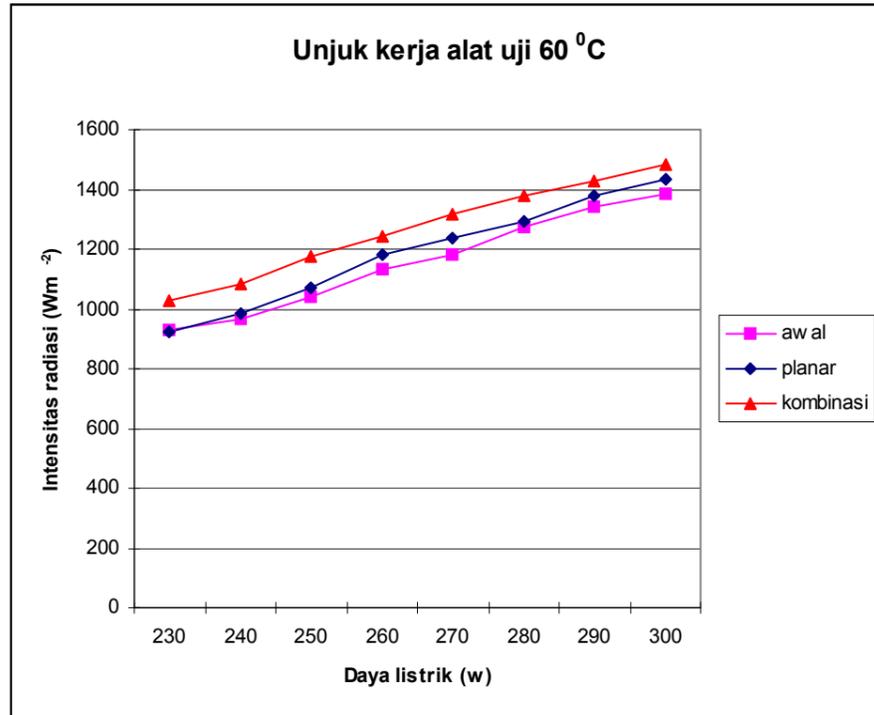


(i)

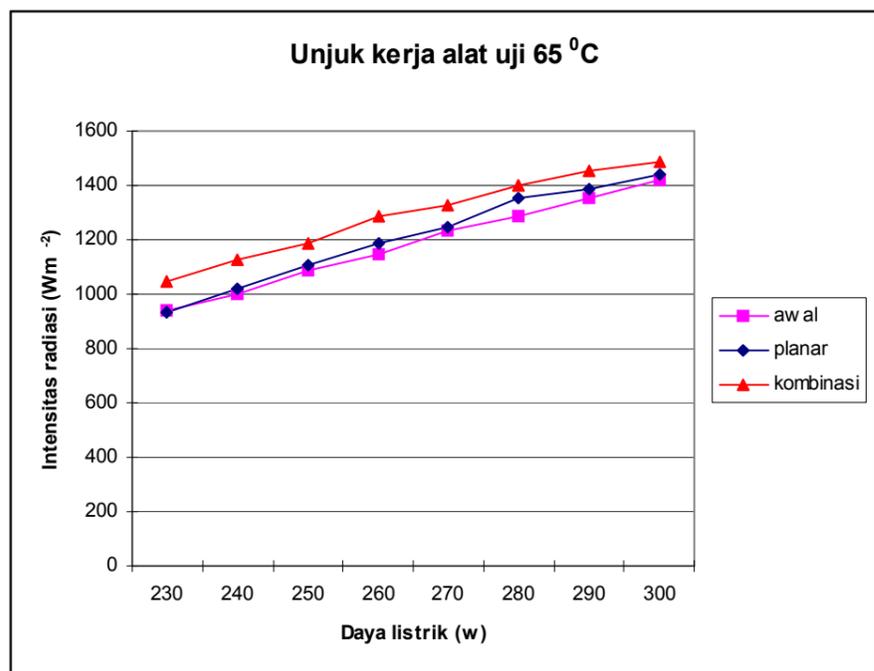


(ii)

ini. Kurva ditampilkan dengan menjaga temperatur kerja konstan dan daya lampu divariasikan.



(iii)



(iv)

Gambar 4.2. Kurva unjuk kerja alat uji setelah kedua reflektor terpasang

Ternyata terjadi peningkatan nilai intensitas radiasi pada daya listrik masukan yang sama dengan temperatur kerja alat dijaga konstan. Ini sesuai dengan tujuan peningkatan performa alat uji di atas. Efisiensi reflektor melalui perhitungan adalah 5,5% dan 12% berturut-turut untuk reflektor jenis *planar* dan *planar* kombinasi.

Dari pengolahan data performa alat uji dengan *software* SPSS 10.0 *for Windows* diperoleh persamaan yang menghubungkan intensitas radiasi, daya lampu dan temperatur ruang pengering.

Tabel 4.8. Persamaan matematis untuk unjuk kerja alat uji

Kondisi Alat Uji	T (0 C)	Persamaan matematis	R ₂
Awal/Tanpa Reflektor	45	$I_R = 6,969P-717,048$	0,995
	50	$I_R = 6,949P-700,560$	0,995
	60	$I_R = 6,937P-681,905$	0,989
	65	$I_R = 6,939P-656,286$	0,989
Reflektor <i>Planar</i>	45	$I_R = 7,509P-830,554$	0,996
	50	$I_R = 7,502P-816,631$	0,996

	6 0	$I_R = 7,465P-790,756$	0 , 9 9 4
	6 5	$I_R = 7,348P-738,119$	0 , 9 9 3
Reflektor Kombinasi	4 5	$I_R = 6,921P-594,679$	0 , 9 8 8
	5 0	$I_R = 6,690P-518,226$	0 , 9 9 0
	6 0	$I_R = 6,651P-494,940$	0 , 9 9 5
	6 5	$I_R = 6,493P-430,857$	0 , 9 9 2

dimana :

I_R = intensitas radiasi (W/m^2)

P = daya lampu (watt)

T = temperatur ruang pengering ($^{\circ}C$)

R^2 = koefisien korelasi terhadap intensitas radiasi

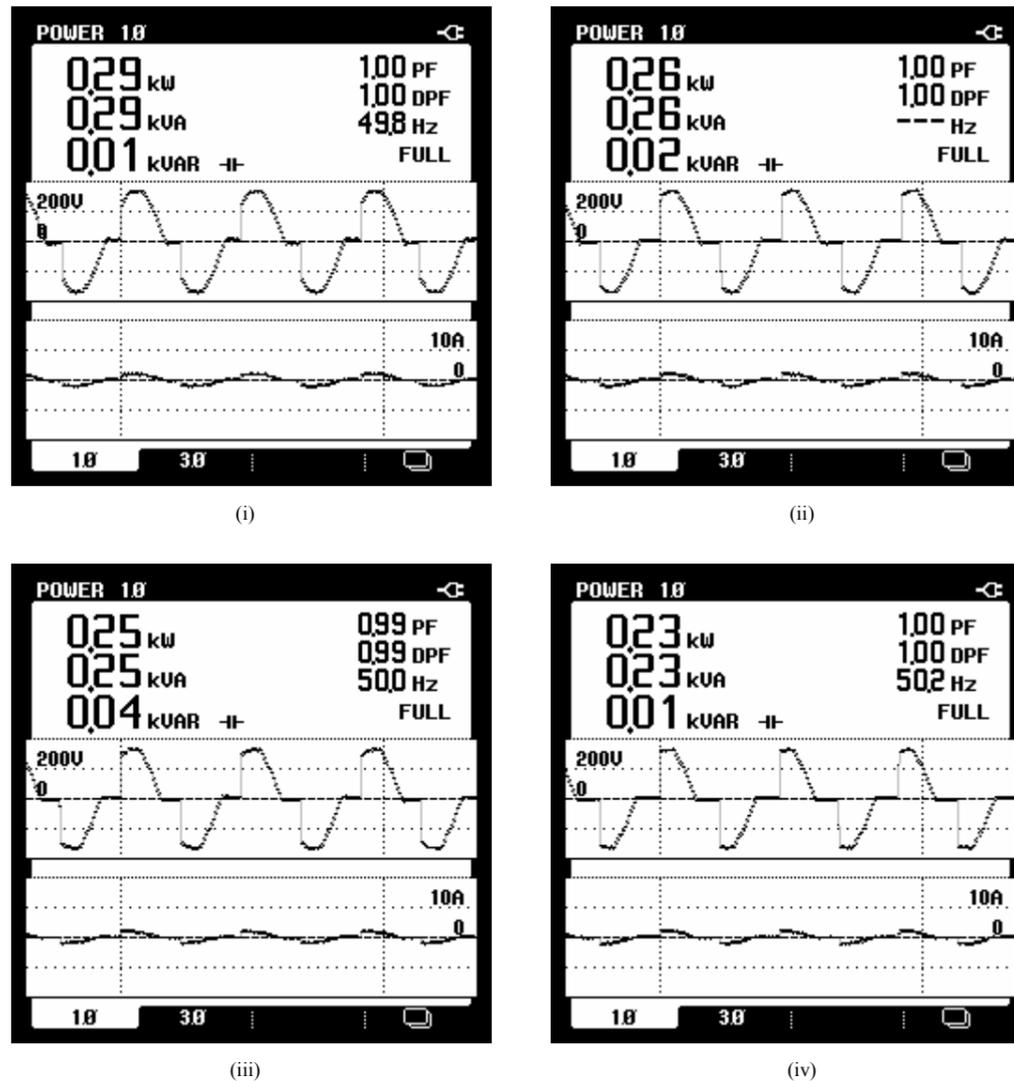
Persamaan di atas menunjukkan bahwa kenaikan daya lampu secara signifikan berpengaruh terhadap intensitas radiasi yang dihasilkan. Semakin besar daya listrik yang disuplai pada lampu infra merah maka intensitas radiasi yang dihasilkan juga semakin tinggi.

c. Perubahan bentuk gelombang listrik

Pada pembacaan daya listrik yang dikonsumsi lampu infra merah terjadi perubahan bentuk gelombang listrik setelah melewati *electric lamp*

dimmer. Analisis untuk fenomena ini akan dikerjakan dengan melihat bentuk gelombang pada daya lampu 0,230 kW dan 0,290 kW karena memiliki perbedaan bentuk gelombang yang signifikan.

Pada gambar 4.3 terlihat adanya distorsi bentuk gelombang sinusoidal listrik. Perbedaan yang terlihat pada masing-masing bentuk gelombang adalah semakin besarnya tingkat distorsi gelombang dengan semakin menurunnya daya listrik masukan.



Gambar 4.3. Perubahan gelombang listrik setelah melewati *electric lamp dimmer*.
 (i) saat daya lampu 0,290 kW, (ii) saat daya lampu 0,260 kW,
 (iii) saat daya lampu 0,250 kW, (iv) saat daya lampu 0,230 kW

Fenomena tersebut di atas dapat dipahami dengan meneliti komponen elektronik yang digunakan. *Electric lamp dimmer* yang digunakan ternyata menggunakan komponen *triac* yang merupakan pengembangan dari kerja *thyristor*.

Triac dibuat karena adanya permasalahan praktis yang dialami dalam menyambung dua *thyristor* secara paralel untuk mendapatkan kendali gelombang penuh. *Triac* mengandung *thyristor* dua arah yang saling membelakangi. Daya yang tersedia untuk beban dengan demikian dapat divariasikan antara nol sampai beban penuh. Hal inilah yang menyebabkan distorsi gelombang meningkat dengan semakin menurunnya daya listrik masukan. Pada kondisi praktisnya, untuk mengendalikan daya masukan ke beban cukup dengan memainkan potensiometer yang ada pada *electric lamp dimmer*.

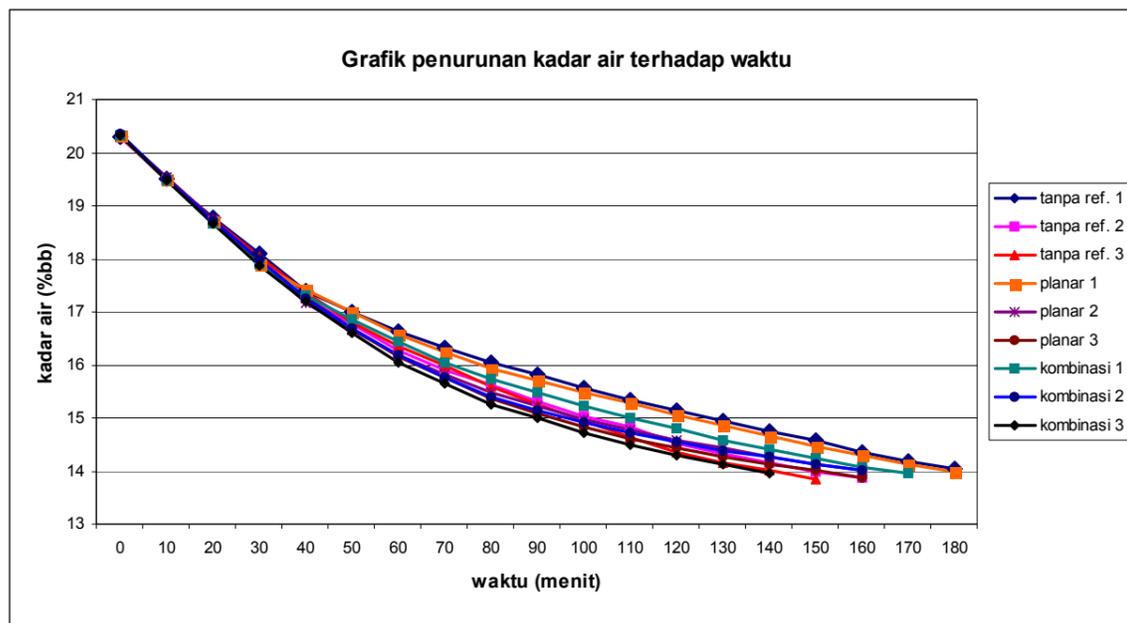
4.2.2 Analisis Data Percobaan dan Perhitungan

a. Pengaruh penambahan reflektor terhadap penurunan kadar air

Dari data penelitian dapat dibuat grafik hubungan kadar air dengan waktu. Karakteristik pengeringan gabah IR-64 dapat dilihat dari Gambar 4.4.

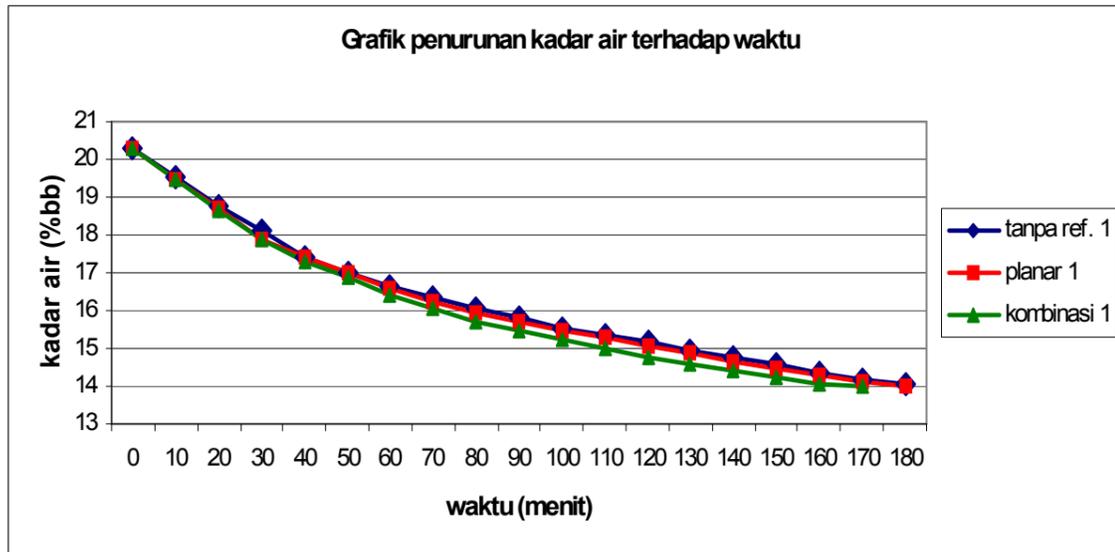
Grafik pada gambar 4.4 diperoleh dari pengukuran kadar air gabah menggunakan *moisture analyzer* untuk tiap 10 menit pengeringan. Angka 1, 2 dan 3 menunjukkan nomor percobaan pada kondisi alat uji yang sama sedangkan kata tanpa ref., *planar*, kombinasi menunjukkan secara berturut-turut kondisi alat uji ketika tidak ditambahkan reflektor, memakai reflektor jenis *planar* atau memakai reflektor jenis *planar* kombinasi dengan sudut pantul 45 °C.

Secara umum, grafik pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa penurunan kadar air gabah semakin meningkat setelah reflektor infra merah dipasang. Penurunan kadar air tercepat terjadi pada penggunaan reflektor kombinasi variasi percobaan 3 sedangkan penurunan terendah terjadi pada percobaan tanpa reflektor percobaan 1.

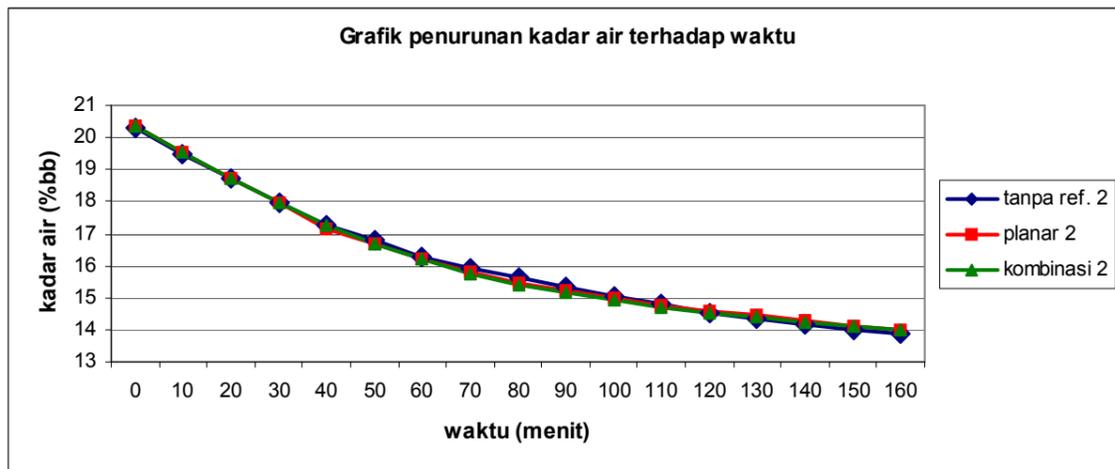


Gambar 4.4. Grafik penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan untuk semua variasi percobaan

Hal ini dapat dipahami karena dari hasil percobaan diketahui bahwa intensitas radiasi saat pengeringan relatif meningkat pada pengeringan dengan penambahan reflektor sehingga energi panas yang diserap untuk menaikkan temperatur dan tekanan uap air dalam gabah juga meningkat akibatnya mempercepat pula proses penurunan kadar air gabah yang dikeringkan. Artinya peningkatan intensitas radiasi baik pada proses *preheating* maupun *mainheating* akan meningkatkan proses penurunan kadar air gabah. Pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7, diperlihatkan penurunan kadar air gabah terhadap berbagai variasi penggunaan reflektor sesuai desain penelitian.



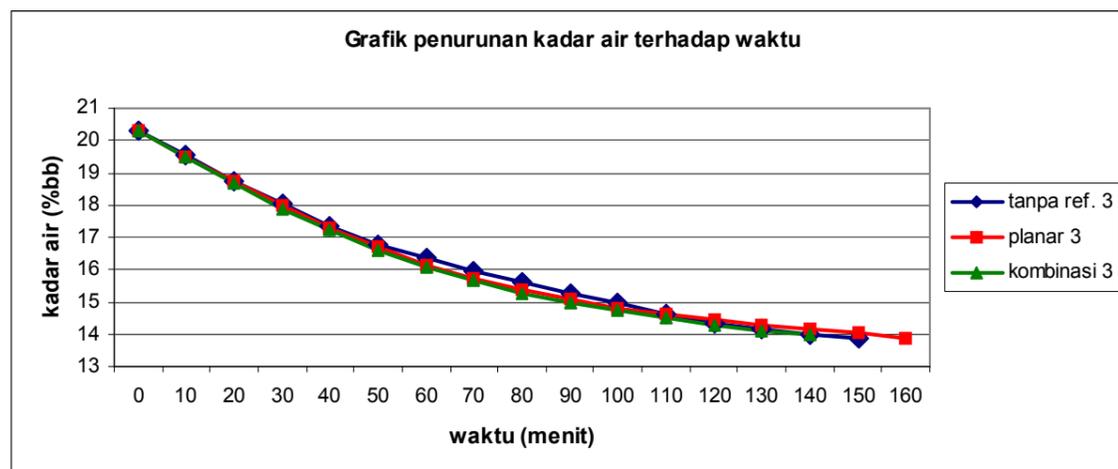
Gambar 4.5. Grafik penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan variasi percobaan 1 [*preheating process*: 0,260 kW, 60 °C], [*mainheating process*: 0,230 kW, 45 °C]



Gambar 4.6. Grafik penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan variasi percobaan 2 [*preheating process*: 0,260 kW, 60 °C], [*mainheating process*: 0,260 kW, 45 °C]

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa kurva yang dibentuk oleh percobaan kedua pada masing-masing variasi membentuk kurva yang berimpit satu sama

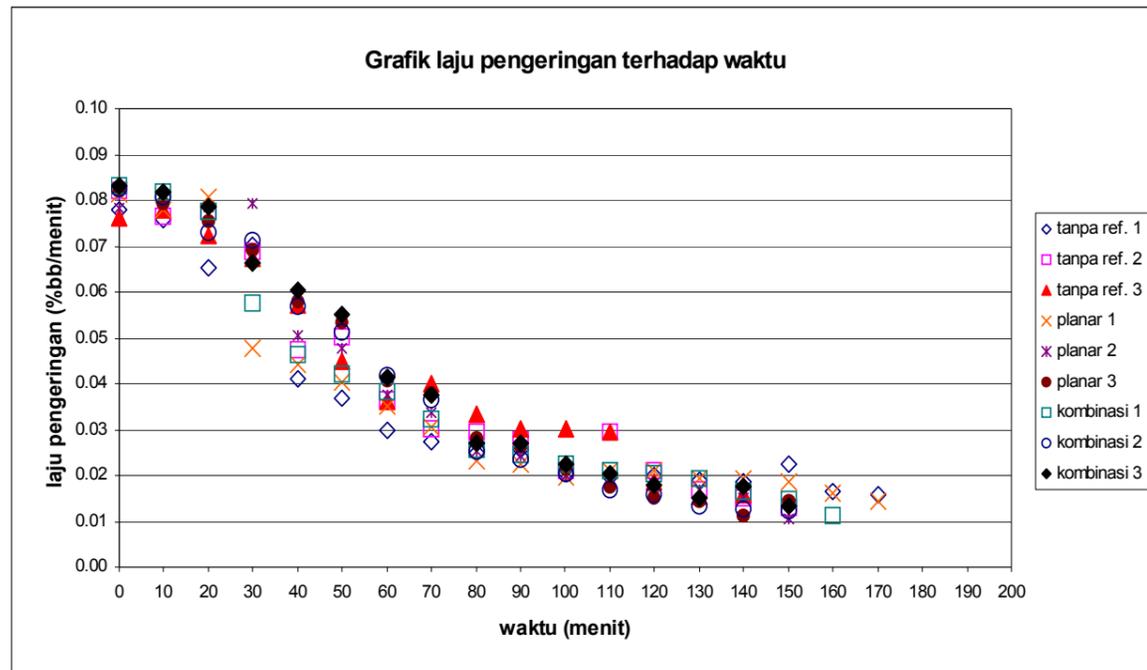
lain. Ini berarti bahwa penurunan kadar air untuk percobaan kedua pada masing-masing variasi hampir sama walaupun terjadi peningkatan intensitas radiasi. Hal ini dapat dimengerti bahwa, untuk percobaan kedua pada masing-masing variasi, peningkatan intensitas radiasi yang diterima gabah memiliki nilai yang relatif hampir sama. Sehingga penurunan kadar airnya pun relatif sama.



Gambar 4.7. Grafik penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan variasi percobaan 3 [preheating process: 0,260 kW, 60 °C], [mainheating process: 0,290 kW, 45 °C]

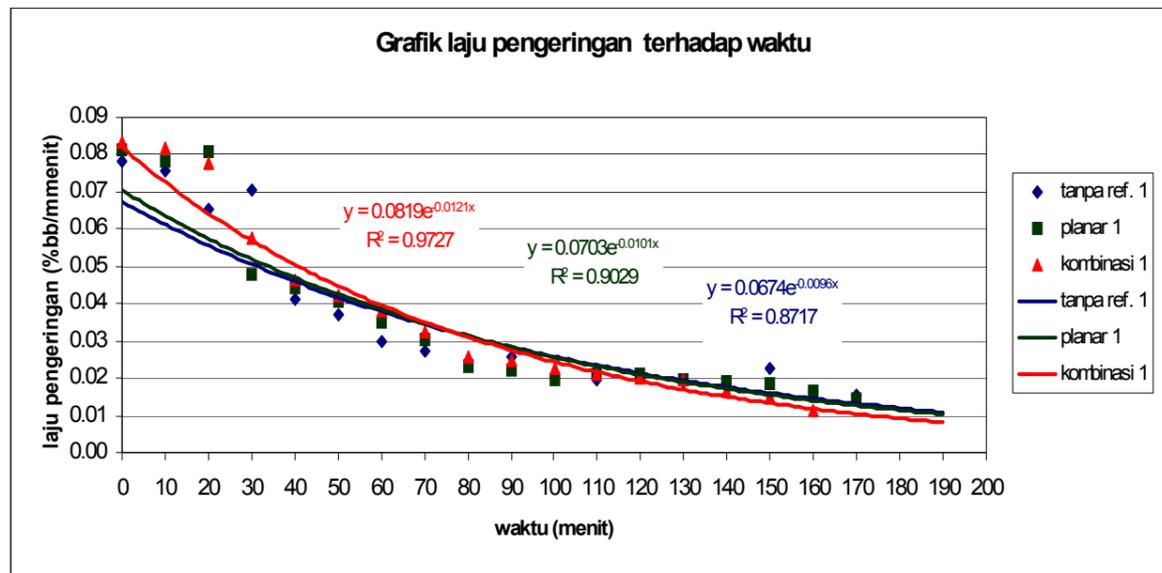
b. Pengaruh penambahan reflektor terhadap laju pengeringan

Dari data penelitian dapat dibuat grafik hubungan laju pengeringan dengan waktu. Karakteristik pengeringan gabah IR-64 dapat dilihat dari Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik laju pengeringan terhadap waktu pengeringan untuk semua variasi percobaan

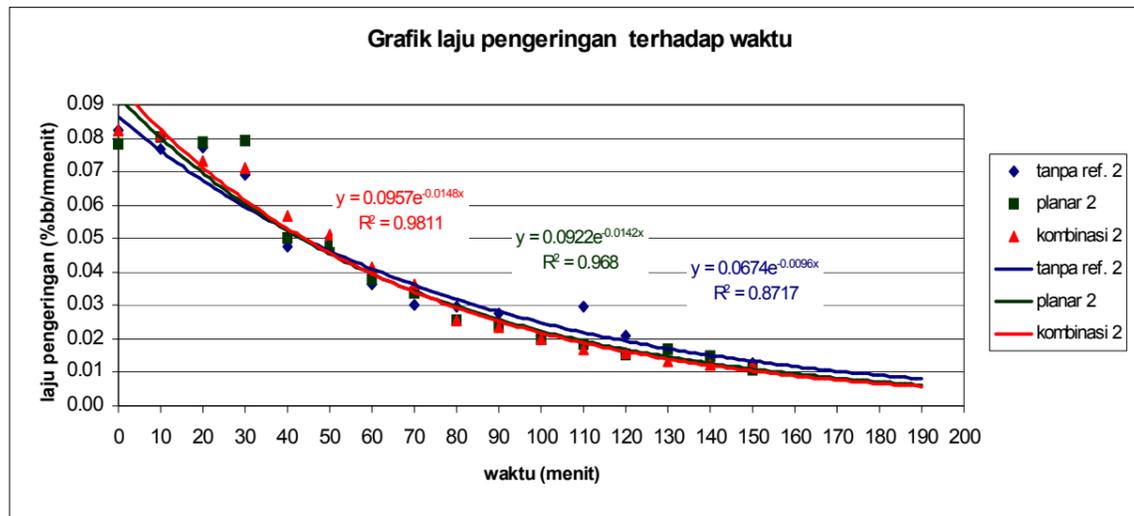
Secara umum, grafik di atas menunjukkan bahwa laju pengeringan gabah semakin meningkat setelah reflektor infra merah dipasang. Laju pengeringan tercepat terjadi pada penggunaan reflektor kombinasi variasi 3 sedangkan terendah terjadi pada percobaan tanpa reflektor 1. Hal ini dapat dipahami karena dari hasil percobaan diketahui bahwa intensitas radiasi saat pengeringan relatif meningkat pada pengeringan dengan penambahan reflektor sehingga energi panas yang diserap untuk menaikkan temperatur dan tekanan uap air dalam gabah juga meningkat akibatnya mempercepat pula proses penurunan kadar air dan memperbesar laju pengeringan gabah yang dikeringkan. Artinya peningkatan intensitas radiasi dengan penambahan reflektor baik pada proses *preheating* maupun *mainheating* akan meningkatkan laju pengeringan gabah. Pada gambar 4.9, 4.10 dan 4.11, diperlihatkan kurva laju pengeringan gabah terhadap berbagai variasi penggunaan reflektor sesuai desain penelitian.



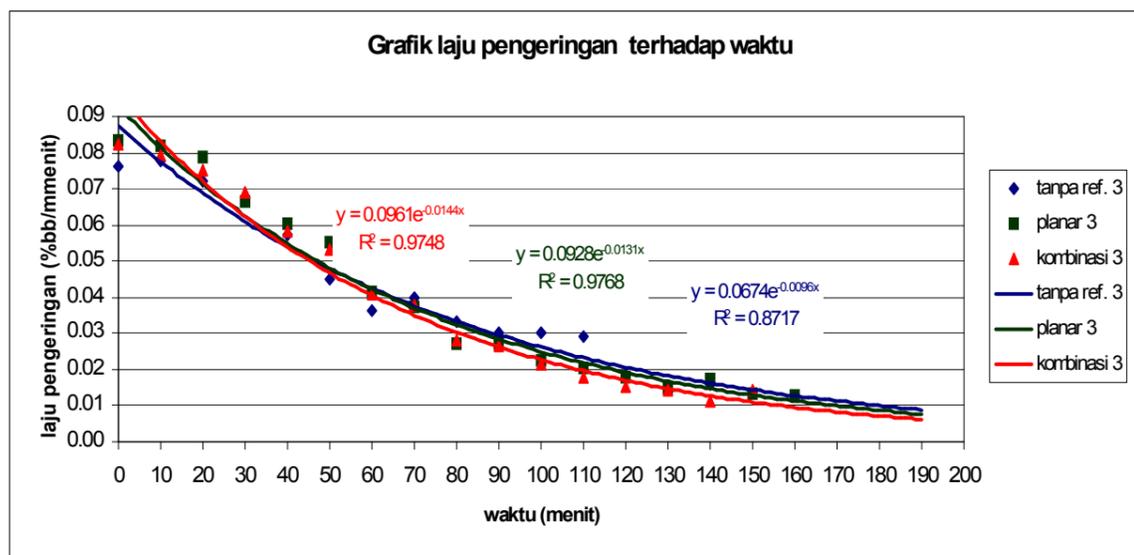
Gambar 4.9. Grafik laju pengeringan terhadap waktu pengeringan variasi 1
 [preheating process: 0,260 kW, 60 °C], [mainheating process: 0,230 kW, 45 °C]

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa kurva yang dibentuk oleh percobaan kedua pada masing-masing variasi membentuk kurva hampir sama satu sama lain. Ini berarti bahwa penurunan kadar air dan laju pengeringan untuk percobaan kedua pada masing-masing variasi hampir sama. Hal ini dapat dimengerti karena dari hasil percobaan diketahui bahwa, untuk percobaan kedua pada masing-masing variasi, peningkatan intensitas radiasi yang diterima gabah memiliki nilai yang relatif hampir sama. Sehingga penurunan kadar airnya pun relatif sama.

Namun demikian variasi penggunaan reflektor kombinasi tetap merupakan kurva yang lebih tinggi laju pengeringannya dibanding variasi percobaan lain.



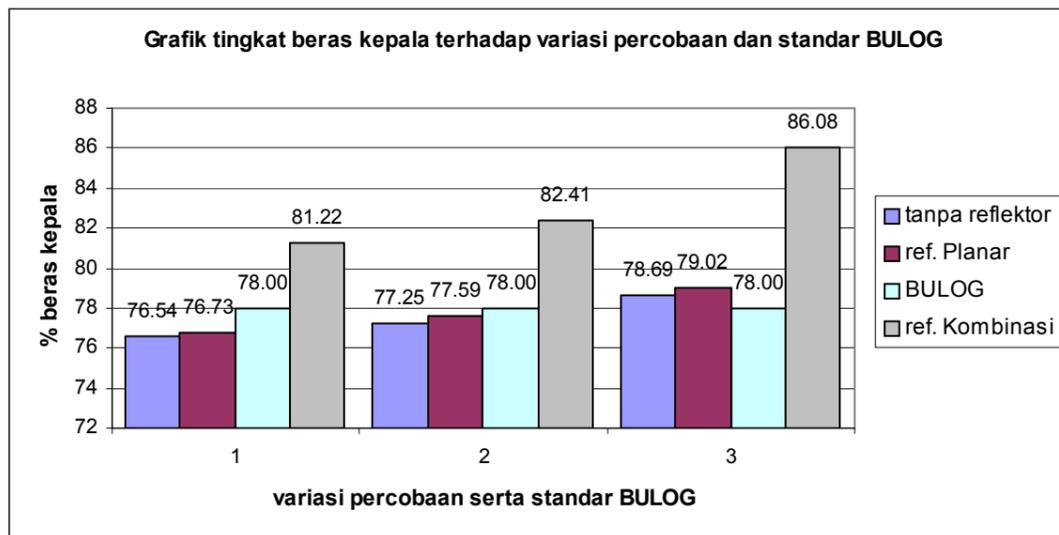
Gambar 4.10. Grafik laju pengeringan terhadap waktu pengeringan variasi 2
[preheating process: 0,260 kW, 60 °C], [mainheating process: 0,260 kW, 45 °C]



Gambar 4.11. Grafik laju pengeringan terhadap waktu pengeringan variasi 3
[preheating process: 0,260 kW, 60 °C], [mainheating process: 0,290 kW, 45 °C]

c. Pengaruh penambahan reflektor terhadap kualitas produk pengeringan

Dari data pengujian kualitas yang telah dilaksanakan di PERUM BULOG Kartasura Sukoharjo, dapat dibuat grafik hubungan tingkat beras kepala dengan variasi desain penelitian seperti terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik hubungan tingkat beras kepala produk pengeringan untuk semua variasi penelitian dibandingkan dengan standar BULOG

Grafik di atas menunjukkan bahwa tingkat beras kepala yang merupakan parameter terbesar dalam kualitas beras cenderung semakin meningkat setelah reflektor infra merah dipasang. Dari data pengujian yang diperoleh juga ditemukan kondisi kualitas produk yang berada di bawah standar BULOG yakni persen butir menir untuk semua hasil percobaan dan persen beras kepala untuk percobaan I dan II pada kondisi tanpa reflektor dan dengan reflektor *planar*. Namun persentase yang ada di bawah standar BULOG tersebut, bukanlah parameter yang signifikan untuk tingkat kualitas beras. Kualitas terbaik terjadi pada penggunaan reflektor kombinasi variasi percobaan 3 (86,08%) sedangkan kualitas terendah terjadi pada percobaan tanpa reflektor 1 (76,54%). Artinya peningkatan intensitas radiasi dengan penambahan reflektor baik pada proses *preheating* maupun *mainheating* akan meningkatkan kualitas produk gabah yang dihasilkan.

Hal ini dapat dipahami karena adanya *optical gain* dengan penambahan reflektor menyebabkan kenaikan temperatur emiter yang akan menaikkan daya emisi radiasi. Kenaikan daya emisi radiasi ini ternyata

mencapai titik dimana panjang gelombang radiasi infra merah yang dilepaskan terletak pada nilai transmisivitas yang cukup tinggi untuk diterima molekul air. Kondisi ini sangat menguntungkan karena energi radiasi yang datang diteruskan dulu ke seluruh bagian gabah, kemudian baru mengalami proses pemanasan dari dalam gabah ke permukaan luar. Akibatnya, tegangan yang terjadi karena adanya temperatur permukaan yang tidak seragam bisa dikurangi. Oleh karena itu keretakan pada gabah dapat berkurang, sehingga menghasilkan tingkat beras kepala yang lebih tinggi.

d. Analisis perhitungan

Data Perhitungan

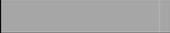
Data-data perhitungan berikut ini digunakan untuk menganalisis variasi percobaan I menggunakan reflektor jenis *planar*. Untuk variasi percobaan yang lain dikerjakan secara analog seperti langkah perhitungan berikut ini dan ditampilkan pada lampiran.

1. Kadar air awal gabah	: 20,31 %
2. Kadar air akhir gabah	: 13,97 %
3. Densitas gabah [lampiran]	: 579 kg/m ³
4. Temperatur lingkungan rata-rata	: 28 °C
5. Kelembaban lingkungan rata-rata	: 76 %
6. Temperatur pengeringan	
<i>a. preheating process</i>	: 60 °C
<i>b. mainheating process</i>	: 45 °C
7. Panas laten penguapan air (h_{fg}) [lampiran]	:
<i>a. preheating process</i>	: 2358,5 kJ/kg
<i>b. mainheating process</i>	: 2394,8 kJ/kg
8. Luasan radiasi total	: 0,56 m ²
9. Daya listrik total <i>exhaust fan</i>	: 15 watt
10. Daya listrik lampu infra merah	: 600 watt
11. Tarif daya listrik PLN	: Rp. 495/kWh

Data Percobaan dengan reflektor planar variasi percobaan 1

Tanggal Pengambilan Data	: 9 Sept. 2005	Daya Pre Heating	: 0,260 kW
Waktu Pengambilan Data	: 08.01 WIB	Daya Main Heating	: 0,230 kW
Intensitas Pre Heating	: 1180 Wm ⁻²	Temperatur Pre Heating	: 60 °C
Intensitas Main Heating	: 910 Wm ⁻²	Temperatur Main Heating	: 45 °C
Temperatur Ruangan	: 26 °C	Exhaust Airflow	: 1,25 ms ⁻¹
RH Ruangan	: 79 %	Kadar Air Awal	: 20,31 %wb

No	Waktu (min)	Kadar air gabah (%wb)			
		MC _{sampel#1}	MC _{sampel#2}	MC _{sampel#3}	MC _{rata-rata}
0	0	20,31	20,31	20,31	20,31
1	10	19,66	19,11	19,73	19,50
2	20	18,81	18,59	18,76	18,72
3	30	18,13	17,57	18,04	17,91
4	40	17,52	17,37	17,42	17,44
5	50	17,13	16,75	17,09	16,99
6	60	16,73	16,46	16,62	16,60
7	70	16,37	16,06	16,29	16,24
8	80	16,13	15,65	16,01	15,93
9	90	15,85	15,33	15,91	15,70
10	100	15,52	15,05	15,84	15,47
11	110	15,40	14,93	15,48	15,27
12	120	15,28	14,47	15,43	15,06
13	130	15,12	14,36	15,07	14,85
14	140	15,03	14,23	14,71	14,66
15	150	14,74	14,17	14,50	14,47
16	160	14,38	14,03	14,43	14,28
17	170	14,15	13,92	14,30	14,12
18	180	14,06	13,77	14,08	13,97

 = preheating process

 = mainheating process

Perhitungan**Kondisi Awal Bahan**

1. Massa awal gabah yang dipindahkan dalam 10 menit

$$\begin{aligned}
 M_i &= \gamma \cdot v \\
 &= 579 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,025) \text{ m}^3 \\
 &= 4,053 \text{ kg gabah}
 \end{aligned}$$

2. Konversi kandungan air awal ke basis kering

$$(MC_i)_{db} = \frac{(100)(20,31)}{100 - 20,31}$$

$$(MC_i)_{db} = 25,48\%$$

3. Massa kering gabah konstan

$$M_d = M_i \times \left(\frac{100 - MC_i}{100} \right)$$

$$M_d = 4,053 \text{ kg}_{\text{gabah}} \times \left(\frac{100 - 20,31}{100} \right)$$

$$M_d = 3,23 \text{ kg}_{\text{gabah}}$$

Pemanfaatan Panas

Setelah proses berjalan 10 menit untuk variasi *planar* I, kadar air gabah menjadi 19,50 %bb, sehingga:

1. Konversi kandungan air akhir ke basis kering

$$(MC_f)_{db} = \frac{(100)(19,50)}{100 - 19,50}$$

$$(MC_f)_{db} = 24,22\%$$

2. Massa air yang harus diuapkan

$$m_v = M_d \times \left(\frac{M_{i,db} - M_{f,db}}{100} \right)$$

$$m_v = 3,23 \text{ kg} \times \left(\frac{25,48 - 24,22}{100} \right)$$

$$m_v = 0,0407 \text{ kg}_{\text{air}}$$

3. Panas yang digunakan untuk proses pengeringan

Adalah panas yang digunakan untuk menguapkan air dari permukaan gabah ke udara bebas.

$$Q_l = m_v \cdot h_{fg @ 60^\circ C}$$

$$= 0,0407 \text{ kg} \cdot 2358,5 \text{ kJ/kg}$$

$$= 95,991 \text{ kJ}$$

4. Panas Radiasi

$$Q_r = I_{rad} \cdot A \cdot t$$

$$= 1180 \text{ W/m}^2 \cdot (0,7 \cdot 0,4) \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ menit} \cdot 60 \text{ detik/menit}$$

$$= 198,24 \text{ kJ}$$

5. Efisiensi Pengeringan

$$\eta = \frac{Q_l}{Q_r} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{95,991}{198,24} \times 100\%$$

$$\eta = 48,42\%$$

Analog langkah 1-6, pemanfaatan panas pada variasi *planar* I untuk tiap interval waktu 10 menit didapatkan hasil seperti pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil perhitungan pemanfaatan panas pada variasi *planar* I

<i>t</i>	<i>MC_{wb}</i>	<i>m_v</i>	<i>I_{rad}</i>	<i>Q</i>	<i>Q_{rad}</i>	<i>η</i>	<i>Proses</i>
10	19,50	0,041	1180	95,991	198,24	48,42	<i>Preheating</i>
20	18,72	0,039	1180	90,814	198,24	45,81	<i>Preheating</i>
30	17,91	0,039	1180	92,016	198,24	46,42	<i>Preheating</i>
40	17,44	0,023	910	54,58	152,88	35,70	<i>Mainheating</i>
50	16,99	0,021	910	49,79	152,88	32,57	<i>Mainheating</i>
60	16,60	0,019	910	45,13	152,88	29,52	<i>Mainheating</i>
70	16,24	0,016	910	38,93	152,88	25,47	<i>Mainheating</i>
80	15,93	0,014	910	33,53	152,88	21,93	<i>Mainheating</i>
90	15,70	0,011	910	25,31	152,88	16,55	<i>Mainheating</i>
100	15,47	0,010	910	24,27	152,88	15,88	<i>Mainheating</i>
110	15,27	0,009	910	21,23	152,88	13,89	<i>Mainheating</i>

120	15,06	0,010	910	22,79	152,88	14,91	Mainheating
130	14,85	0,009	910	22,69	152,88	14,84	Mainheating
140	14,66	0,009	910	20,62	152,88	13,49	Mainheating
150	14,47	0,008	910	20,32	152,88	13,29	Mainheating
160	14,28	0,008	910	19,70	152,88	12,88	Mainheating
170	14,12	0,007	910	17,05	152,88	11,15	Mainheating
180	13,97	0,006	910	15,18	152,88	9,93	Mainheating
TOTAL				523,14	2491,44	21,00	Finish

Analog dengan variasi *planar* I, efisiensi rata-rata untuk variasi percobaan yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.10. Hasil perhitungan pemanfaatan panas pada semua variasi percobaan

Efisiensi (%)	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Tanpa reflektor	24,65	25,50	23,87
Refl. <i>Planar</i>	21,00	23,21	21,17
Refl. Kombinasi	21,96	18,25	19,40

6. Daya listrik total

$$P_{total} = P_{ex.fan} + P_{IR,lamp}$$

$$P_{total} = 0,015kW + 0,600kW$$

$$P_{total} = 0,615kW$$

7. Biaya operasional

Kapasitas pengeringan : 10,132 kg
 Waktu pengeringan rata-rata : 3 jam
 Kapasitas pengeringan per hari : 40 kg
 Waktu pengeringan per hari : 12 jam
 Tenaga yang dibutuhkan : 1 orang
 Daya listrik yang dibutuhkan: 0,615 kW
 Gaji tenaga kerja : Rp. 15.000 per orang per hari
 Tarif dasar listrik : Rp. 495 per kWh
 Total biaya operasional :
 = gaji tenaga kerja + biaya listrik
 = (Rp.15.000/orang hari \times 1 orang \times 1 hari)+(Rp.495/kWh \times 12jam \times 0,615kW)
 = Rp.15.000 + Rp. 3.650
 = Rp. 18.650
 Biaya operasional per kg gabah
 = Rp.18.650 \div 40 kg
 = Rp. 466 /kg

e. Pembahasan

Dari tabel 4.10 terlihat bahwa nilai efisiensi pengeringan secara relatif untuk desain penelitian ini justru mengalami penurunan karena pemakaian reflektor infra merah.

$$\eta_{\text{kombinasi}} < \eta_{\text{planar}} < \eta_{\text{tanpa reflektor}}$$

Data hasil percobaan dan perhitungan juga menunjukkan hal-hal sebagai berikut :

$$\Delta MC_{\text{tanpa reflektor}} < \Delta MC_{\text{planar}} < \Delta MC_{\text{kombinasi}}$$

$$\text{Kualitas beras}_{\text{tanpa reflektor}} < \text{Kualitas beras}_{\text{planar}} < \text{Kualitas beras}_{\text{kombinasi}}$$

$$Q_{\text{radiasi, tanpa reflektor}} < Q_{\text{radiasi, planar}} < Q_{\text{radiasi, kombinasi}}$$

dari data-data di atas akan dapat dijelaskan bagaimana penurunan efisiensi pengeringan dengan penambahan reflektor serta peningkatan kualitas yang dicapai.

Efisiensi pengeringan dengan reflektor *planar* lebih rendah dibanding dengan efisiensi tanpa reflektor untuk semua percobaan. Hal ini dapat dipahami, karena terjadi kenaikan intensitas radiasi pada percobaan dengan reflektor *planar* namun tidak terjadi perbedaan massa yang dikeringkan. Jika hal ini diterapkan pada persamaan panas pengeringan yang digunakan, maka hal ini menjadi jelas.

Efisiensi pengeringan dengan reflektor *planar* lebih tinggi dibanding dengan efisiensi reflektor kombinasi. Hal ini dapat dipahami, karena terjadi kenaikan intensitas radiasi pada percobaan dengan reflektor kombinasi namun tidak terjadi penambahan massa yang dikeringkan. Jika hal ini diterapkan pada persamaan panas pengeringan yang digunakan, maka hal ini menjadi jelas.

Kenaikan intensitas radiasi pada percobaan dengan reflektor kombinasi dan *planar* yang tidak diiringi dengan kenaikan massa gabah yang dikeringkan, justru menyebabkan turunnya efisiensi pengeringan. Hal ini dikarenakan efisiensi pengeringan berbanding terbalik dengan kalor radiasi yang dipancarkan lampu infra merah.

Pada akhirnya, hal ini bukan berarti bahwa penggunaan reflektor lebih tidak efisien. Karena terbukti bahwa penggunaan reflektor meningkatkan penurunan kadar air (gambar 4.4), laju pengeringan (gambar 4.8) dan tingkat kualitas gabah hasil pengeringan (gambar 4.12) dengan jumlah massa gabah yang dikeringkan sama. Berarti untuk meningkatkan efisiensi penggunaan reflektor, tinggal ditingkatkan jumlah massa yang dikeringkan. Pada aplikasi di alat uji penelitian, hal ini dapat ditempuh dengan mempertebal tumpukan gabah dengan mengatur *stopper* ketebalan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan reflektor pada alat uji menambah intensitas radiasi menjadi 5,5 % dan 12 % dari intensitas radiasi sebelumnya masing-masing untuk reflektor *planar* dan reflektor *planar* kombinasi dengan sudut pantul 45⁰.

2. Tingkat penurunan kadar air gabah dan laju pengeringan semakin meningkat dengan penambahan reflektor pada alat uji.
3. Reflektor meningkatkan kualitas gabah hasil pengeringan sampai dengan tingkat beras kepala 86 % yang artinya telah sesuai standar yang digunakan di PERUM BULOG yakni 78 %.
4. Penambahan reflektor membuka peluang untuk meningkatkan kapasitas pengeringan dengan menambah massa gabah yang dikeringkan melalui pengaturan *stopper* ketebalan tumpukan gabah.

5.2 Saran

1. Pengumpan atau *hopper* dapat dimodifikasi dengan penambahan *stopper* pemakanan sehingga gabah yang baru saja keluar dari alat uji dapat ditampung sementara di dalam *hopper* agar tidak terkontaminasi udara luar.
2. Terminal elektrik lampu infra merah perlu diberikan kipas pendingin untuk mencegah kerusakan *fitting lamp* karena panas. Hal ini dapat mengakibatkan *konsleting* jika kabel listrik lampu terkelupas/leleh karena panas.
3. Penempatan termokopel sebaiknya berada di dalam tumpukan gabah yang dikeringkan agar didapatkan nilai temperatur pengeringan yang signifikan karena hal ini sangat berhubungan erat dengan efisiensi pengeringan khususnya perhitungan *enthalpy*.

DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D.B, Baker Arkema, F.W dan Hall, C. W. 1992. *Drying And Storage of Grain And Oil Seeds*. 4th Edition. United States of America: Van Nostrand.
- Catalytic Drying Technologies (CDT), LLC. 2003. *A Breakthrough in Rough Rice Drying*. 8 Juni 2003

- Chromalox. 2004. Technical Information. *Radiant Infrared Heating-Theory and Principles*. Halaman 28-35.
- Cengel, Y., and Boles, M., 1988. *Thermodynamic And Engineering Approach*. Second Edition. Singapore: Mc Graw-Hill. Inc.
- Divisi Pengadaan PERUM BULOG. 2005. *Pedoman Umum Pengadaan Gabah dan Beras Dalam Negeri Tahun 2005 di Lingkungan Perusahaan Umum BULOG*. Jakarta: Divisi Pengadaan PERUM BULOG.
- Fluke Corporation. 2001. *User Guide of Flukeview Power Quality Analyzer*. United States of America: Fluke Corporation.
- Hardiyanto, Ari. 2004. *Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Laju Pengeringan Gabah Pada Mesin Pengering Gabah dan Radiasi Infra Merah*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Holman, J.P. 1988. *Perpindahan Kalor*. Edisi Keenam. Jakarta: Erlangga
- Incropera, P. I., De Witt, D.P., 1993. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Singapore: John Wiley and Sons.
- Joewono. 1999. *Pesawat Pengangkat*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Marwadi, Andhi. 2004. *Kaji Eksperimental Pengaruh Kelembaban Relatif Terhadap Laju Pengeringan dan Ketahanan Retak Gabah pada Pengering Tipe Pompa Kalor*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Muhaimin, 2001. *Teknologi Pencahayaan*. Bandung: Refika Aditama.
- Mujumdar, A. S. 1995. *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel and Decker Inc.
- Pura Barutama. 2003. *Basic Training Mesin Pengering Padi*. Kudus: Divisi Engineering Pura Group.
- Sarkar, M. A. R., 2002. *Performance Study of a PV Operated Forced Convection Solar Energy Dryer*. Bangladesh : Dhaka 1000.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1998. *Prosedur dan Cara Uji Mesin Pengering Gabah Tipe Rak Datar*. No. 4512.1-TAN
- Taib, Gunarif., E. Gumbira Sa'id, Suteja Wiraatmaja. 1988. *Operasi Pengeringan Pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta: Mediatama Sarana Perkasa.
- Trybal, R.E., 1981. *Mass Transfer Operations*. 3th Edition. Singapore: Mc Graw-Hill

www.chem-is-try.org. 2004. *Apakah yang dimaksud dengan spektrum infra merah.*
Situs web kimia Indonesia