

Optimasi Mesin Sangrai Tipe Silinder Horizontal untuk Penyangraian Biji Kakao

Optimizing of a Horizontal Cylinder Type Cocoa Roaster for Dried Cocoa Cotyledon Roasting

Sukrisno Widyotomo¹⁾, Sri-Mulato¹⁾ dan Edi Suharyanto¹⁾

Ringkasan

Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan pasar komoditas primer di luar negeri adalah melalui pendekatan diversifikasi produk sekunder. Cokelat merupakan produk kakao sekunder yang sesungguhnya banyak digemari, baik oleh penduduk pedesaan maupun perkotaan. Salah satu kendala pengembangan industri sekunder kakao adalah tidak tersedianya mesin sangrai yang murah, efisien dan mampu menghasilkan produk yang kompetitif. Untuk itu, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah merancang dan menguji-coba sebuah mesin sangrai tipe silinder horisontal. Silinder sangrai memiliki ukuran diameter 405 mm, panjang 520 mm dan digerakkan oleh sebuah motor listrik dengan kekuatan 1 HP (0,75 kW), 220 V, 1 phase dan 1400 rpm. Kecepatan putar silinder sangrai diatur pada putaran tetap sekitar 6 rpm. Energi panas diperoleh dari proses pembakaran minyak tanah dengan menggunakan alat pembakar (*burner*) bertekanan. Mesin sangrai dilengkapi sebuah bak pendingin (*tempering*) biji kakao pasca sangrai dengan sistem pendinginan alami. Bahan uji yang digunakan adalah pecahan biji kakao dari jenis mulia (*fine cocoa*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja optimum untuk memperoleh tingkat kesukaan pasta kakao terbaik diperoleh pada beban sangrai 7 kg dan suhu penyangraian 120°C. Kapasitas kerja yang diperoleh sebesar 25,57 kg/jam. Nilai beberapa parameter cita rasa, yaitu aroma, *flavour*, *acidity*, *bitterness*, *astringency* dan *burnt* masing-masing 4,8; 5,2; 5,4; 5,2; 4,8 dan 0,8 pada skala 10, sedangkan panelis memberikan nilai terhadap tingkat kesukaan sebesar 4,2 pada skala 5. Waktu sangrai untuk memperoleh kadar air 2,5–3% diperoleh setelah proses penyangraian berlangsung antara 15–25 menit, tergantung suhu dan beban penyangraian, serta kadar air awal bahan uji 7%.

Summary

The secondary process of cocoa is one of the promising alternatives to increase the value added of dried cocoa beans. One the other hand, the development for secondary cocoa process requires an appropriate technology that is not available yet for small or medium scale business. Cocoa roaster is a basic equipment

1) Peneliti, Ahli Peneliti dan Teknisi (*Researcher, Senior Researcher and Technician*); Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. P.B. Sudirman 90, Jember 68118, Indonesia.

to produce good and competitive secondary cocoa products for chocolate industry. The Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute has, therefore, designed and tested a horizontal cylinder type roaster for drying cocoa cotyledon. The cylinder has 405 mm diameter, 520 mm long and is rotated by a 1 HP (0.75 kW), 220 V, single phase and 1400 rpm electric motor. Assisted with a gear reducer, the final cylinder rotation is adjusted at approximately 6 rpm. The heat for roasting process is generated from kerosene burner. At the end of roasting, the roasted beans are cooled down by ambient air inside a cooling platform by natural air flow. The raw material used in this optimizing test was dried fine cocoa cotyledon. Field tests showed that the optimum performance of the roaster was 7 kg dried fine cocoa cotyledon loaded with roasting temperature 120°C and 25.57 kg/h optimum capacity. The organoleptic test showed that score of aromatic, flavour, acidity, bitterness, astringency and burnt were 4.8, 5.2, 5.4, 5.2, 4.8 and 0.8 with 10 scale, also 4.2 with 5 scale for likely. The roasting time was 15–25 minutes to get 2.5–3% final water content depend on roasting temperature and cocoa cotyledon loaded.

Key words : cocoa, roasting, horizontal cylinder, quality.

PENDAHULUAN

Cokelat merupakan produk kakao sekunder yang sesungguhnya banyak digemari, baik oleh penduduk pedesaan maupun perkotaan. Selain faktor daya beli penduduk Indonesia yang masih sangat rendah, faktor ketersediaan produk cokelat yang hanya terdapat di perkotaan menyebabkan cokelat hanya dapat dinikmati oleh masyarakat dengan tingkat ekonomi menengah ke atas. Hal tersebut menjadi salah satu sebab konsumsi cokelat domestik saat ini masih sangat rendah, yaitu hanya 0,05 kg/orang/tahun (Sri-Mulato *et al.*, 2005). Nilai tersebut jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan tingkat konsumsi cokelat negara-negara di benua Eropa, Amerika, maupun Jepang.

Industri makanan dan minuman cokelat skala besar umumnya juga didukung oleh manajemen, modal dan sumber daya manusia yang memadai, sehingga industri golongan

ini mampu membeli peralatan dan mesin pengolahan produk impor dengan teknologi tinggi. Introduksi peralatan dan mesin pengolahan makanan dan minuman cokelat produk impor ke petani kakao Indonesia memiliki beberapa kelemahan, di antaranya muatan teknologi tinggi tidak sepadan dengan kondisi rendahnya tingkat sumber daya manusia dari petani kakao Indonesia, sehingga berakibat pada kendala operasional dan perawatan jika terjadi kerusakan. Komponen suku cadang sulit diperoleh dan harga relatif mahal karena harus didatangkan dari negara produsen, sehingga proses produksi menjadi tidak efisien karena umumnya mesin didisain untuk kapasitas produksi yang besar.

Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan pasar komoditas primer di luar negeri adalah melalui pendekatan diversifikasi produk sekunder (Sri-Mulato, 2002; Suhargo, 2001). Pengembangan produk sekunder kakao memberikan

beberapa keuntungan bagi Indonesia antara lain peningkatan nilai tambah yang lebih besar dibandingkan menjual produk primer, peluang lapangan kerja, pengembangan industri terkait dan peningkatan konsumsi cokelat per kapita di dalam negeri yang saat ini masih sangat rendah, serta mengurangi ketergantungan terhadap pasar kakao di luar negeri.

Total produksi biji kakao Indonesia yang mencapai 450.000 ton per tahun, hanya 20% yang diolah dan dipasarkan dalam bentuk produk sekunder, seperti pasta, bubuk cokelat, lemak, dan beberapa produk turunan lainnya (Sri-Mulato *et al.*, 2005). Selain itu, 6,5% hasil olahan kakao primer merupakan produk pecahan biji kakao akibat penanganan bahan yang kurang tepat, mulai dari proses fermentasi, pengeringan, sortasi dan pengudangan (Widyotomo *et al.*, 1998). Jika pecahan biji kakao tersebut dapat dijaga dari serangan hama dan penyakit, maka akan tetap memiliki potensi bahan baku bermutu baik sampai diperoleh produk akhir berupa makanan ataupun minuman cokelat.

Cita rasa khas *chocolate* selain ditentukan oleh sifat genetis bahan tanam, juga sangat ditentukan oleh cara pengolahan dan cara penyiapan makanan cokelat. Salah satu tahap pengolahan hilir kakao yang sangat menentukan cita rasa khas *chocolate* adalah proses penyangraian. Penyangraian bertujuan untuk mengembangkan rasa, aroma, warna dan mengurangi kadar air. Rasa dan aroma kakao sangrai sangat ditentukan oleh suhu dan lama penyangraian, kadar air, ukuran biji dan bentuk biji (Kleinert, 1966; Lopez & Mc Donald, 1981).

Pada tahapan pengolahan hilir kakao, proses penyangraian dilakukan pada biji kakao kering dengan ukuran seragam berkadar air 7%. Petani kakao umumnya melakukan proses penyangraian dengan menggunakan unit penggoreng berupa wajan dan mengaduknya secara manual. Sumber panas diperoleh dari sebuah tungku berbahan bakar kayu atau minyak tanah. Selain kapasitas kerja yang rendah, kendala lain adalah mutu produk sangrai yang dihasilkan tidak konsisten, terkontaminasi asap, tingkat sangrai tidak seragam, dan penggunaan bahan bakar tidak efisien. Kemampuan manusia untuk mengukur tingkatan mutu dalam jumlah yang besar memiliki unsur subyektifitas yang tinggi dan konsistensi (daya tahan), keakuratan, serta kecepatan yang terbatas (Budiastra, 1995; Suroso & Maulani, 2003; Ahmad *et al.*, 2004).

Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah merekayasa alat sangrai biji kakao tipe silinder horisontal dengan sumber panas *burner* berbahan bakar minyak tanah yang cocok dan terjangkau oleh pengusaha kecil, baik secara teknologis maupun harga. Mesin sangrai merupakan salah satu mesin yang digunakan dalam rangkaian peralatan dan mesin pengolahan hilir kakao untuk menghasilkan minuman dan makanan cokelat. Untuk meningkatkan nilai tambah dan berdasarkan potensi mutu yang dimiliki oleh pecahan biji kakao sebagai bahan baku makanan dan minuman cokelat, maka dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi mesin sangrai tipe silinder horizontal untuk penyangraian pecahan biji kakao. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan

sebagai acuan dalam penggunaan atau operasional mesin sangrai untuk proses penyangraian pecahan biji kakao sehingga diperoleh kinerja dan mutu produk akhir yang optimal. Sejauh ini produsen makanan dan minuman coklat baru melakukan proses penyangraian pada biji kakao dengan kadar air dan ukuran yang seragam. Penyangraian pecahan biji kakao belum banyak diminati mengingat keterbatasan ketersediaan alat dan mesin serta teknologi prosesnya.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Hasil dan Rekayasa Alat dan Mesin Pengolahan Kopi dan Kakao, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember, Jawa Timur pada bulan Maret sampai dengan Juni 2005.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pecahan biji kakao mulia (*fine cocoa*) kering yang diperoleh dari Kebun Ngrangkah Pawon PT Perkebunan Nusantara XII produksi, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Pecahan biji kakao kering memiliki kadar air 7% (basis basah) dan sebelum digunakan sebagai bahan baku uji biji kakao kering telah melalui proses pemisahan dari kotoran dan benda-benda asing lainnya.

Mesin yang diuji adalah mesin sangrai tipe silinder horizontal beserta perlengkapannya, dengan peralatan uji berupa data *acquisition* FLUKE, sensor *Ni-CrNi* dan

komputer sebagai pencatu data suhu, alat ukur kadar air, alat ukur kecepatan putar (*tachometer*), timbangan digital dengan beban maksimum 50 kg, oven dan timbangan analitik.

Deskripsi Mesin Sangrai Tipe Silinder Horizontal

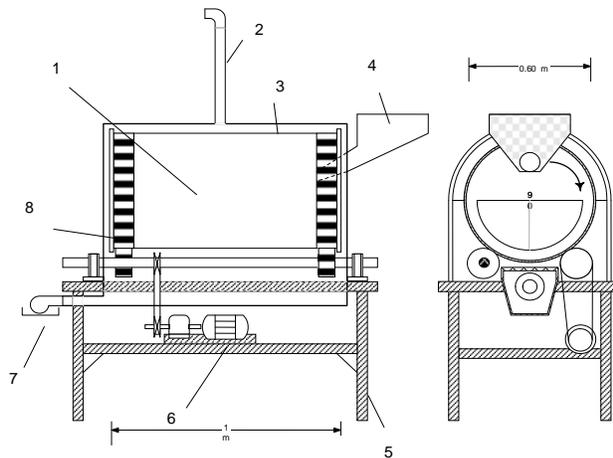
Mesin sangrai tipe silinder horizontal memiliki lima bagian penting, yaitu silinder sangrai beserta sungkup (*housing*), tenaga penggerak, rangka, sumber panas dan unit *tempering*. Silinder sangrai dibuat dari bahan aluminium dan memiliki ukuran diameter, panjang selimut dan tebal masing-masing 405 mm, 520 mm dan 3 mm. Pada bagian dalam silinder sangrai dipasang sirip-sirip berukuran panjang dan lebar masing-masing 100 mm dan 85 mm yang melintang dua arah, berfungsi sebagai pembalik bahan pada saat proses penyangraian berlangsung, sehingga diperoleh produk sangrai yang seragam. Pada bagian ujung depan dipasang sabuk (*belt*) yang dibuat dari bahan baja melingkar silinder sangrai dengan ukuran tebal dan lebar masing-masing 3 mm dan 70 mm. Pada bagian belakang dipasang plat baja tebal 3 mm dan diameter 465 mm yang berfungsi menutup lubang silinder sortasi, dan dilengkapi sabuk baja melingkar silinder sangrai dengan ukuran tebal dan lebar masing-masing 3 mm dan 70 mm. Sabuk baja melingkar silinder sangrai berfungsi sebagai alur penerusan daya putar dari bantalan poros putar yang digerakkan oleh tenaga penggerak. Sungkup silinder sangrai (*housing*) selain berfungsi untuk menekan kehilangan panas hasil pembakaran minyak tanah yang dengan menggunakan kompor

bertekanan (*burner*) tipe kupu-kupu, juga berfungsi untuk memisahkan aliran asap hasil proses pembakaran dari bahan yang disangrai dan mengeluarkannya melalui cerobong keluaran asap yang dipasang di bagian atas sungkup silinder sangrai. Pada cerobong keluaran asap dipasang indikator suhu yang berfungsi untuk mengetahui suhu asap hasil pembakaran sehingga memudahkan pengendalian panas selama proses penyangraian berlangsung.

Silinder sangrai berputar dengan adanya putaran dari tenaga penggerak berupa sebuah motor listrik dengan spesifikasi daya 1 HP, 220 V, *single phase* dan 1400 rpm. Penerusan daya dari sumber daya penggerak ke silinder sangrai menggunakan sistem

pulley dan sabuk karet V tunggal, reduksi putaran menggunakan *gear box* dengan rasio putaran 1 : 50 dan *size* 60, roda gigi ke roda gigi dan terakhir sistem friksi antara empat buah silinder baja yang terletak di poros putar dengan dua buah sabuk baja dari silinder sangrai. Perbandingan roda gigi dari *gear box* ke bantalan poros putar adalah 1 : 1.

Rangka mesin sangrai dibuat dari besi baja profil persegi 40 mm x 60 mm dan memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi masing-masing 900 mm, 670 mm dan 700 mm. Rangka berfungsi untuk menopang silinder sangrai dan sungkup silinder sangrai serta penempatan tenaga penggerak. Selain itu, di bagian dalam rangka ditempatkan



Keterangan (*Remark*) :

1. Silinder sangrai (*cylinder roaster*)
2. Cerobong asap (*chimney*)
3. Selimut (*insulation jacket*)
4. Corong pengumpan (*input hopper*)

5. Rangka besi (*steel frame*)
6. Motor listrik (*electric motor*)
7. Pemanas minyak (*kerosene burner*)
8. Sabuk pemutar (*transmission belt*)

Gambar 1. Sketsa mesin sangrai tipe silinder horizontal tampak samping dan depan (Sri-Mulato, 2002).

Figure 1. Design of a horizontal cylinder type cocoa roaster (Sri Mulato, 2002).

ruang bakar sebagai pembangkit sumber panas penyangraian. Sumber panas penyangraian diperoleh dengan adanya pembangkit panas dari *burner* bertekanan berbahan bakar minyak tanah. Jenis *burner* yang digunakan adalah tipe kupu-kupu berjumlah 2 buah dengan diameter 70 mm. Minyak tanah dimasukkan ke dalam tabung yang dilengkapi indikator tekanan dan injeksi minyak ke *sprayer burner* dijaga tetap pada tekanan 0,2 MPa.

Sebelum dilanjutkan pada tahapan pengolahan berikutnya, biji kakao pasca-sangrai didinginkan terlebih dahulu di dalam unit *tempering*. Unit *tempering* berbentuk silinder tegak dan memiliki ukuran diameter dan tinggi masing-masing 1 m dan 0,3 m. Unit *tempering* disangga oleh empat buah kaki dengan tinggi 0,2 m dari permukaan tanah dan dibuat dari besi siku ukuran 40 x 40 mm. Selain berfungsi untuk menurunkan, dan menyeragamkan suhu biji kakao pascasangrai, unit *tempering* berfungsi untuk memisahkan biji kakao pasca sangrai dari serpihan-serpihan yang muncul selama proses penyangraian. Unit *tempering* dibuat dari plat aluminium tebal 2 mm dan pada bagian alasnya dibuat berlubang (*perforated plate*) dengan ukuran lubang 5 mm dan jarak antar lubang 10 mm.

Pelaksanaan Penelitian

Perlakuan

Kinerja mesin dievaluasi pada level kecepatan putar silinder sangrai 10 rpm dan dikenakan dengan tiga level beban penyangraian, yaitu 5 kg, 7 kg dan 9 kg

per *batch* dengan tiga tingkat suhu ruang sangrai, yaitu 110°C, 120°C dan 130°C. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali.

Tolok Ukur

Tolok ukur dalam penentuan kondisi optimum pengoperasian mesin sangrai tipe silinder horisontal ditentukan berdasarkan beberapa hasil analisis teknis dan uji organoleptik sebagai berikut :

A. Analisis Teknis

1. Kapasitas kerja mesin

Kapasitas kerja mesin sangrai tipe silinder horizontal (K_m) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ;

$$K_m, \text{ kg/jam} = \frac{\text{bahan yang diumpankan, kg}}{\text{waktu sangrai, jam}} \dots\dots 1$$

2. Kadar air

Kadar air bahan (K_a) ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri, yaitu pengurangan bobot air selama 16 jam pengeringan *oven* yang terkontrol pada suhu 103°C ± 2°C dan perhitungannya dilakukan dengan menggunakan persamaan Badan Agribisnis Departemen Pertanian (1998) :

$$K_a, \% = \frac{\text{berat air, kg}}{\text{berat total bahan, kg}} \times 100\% \dots\dots 2$$

Tabel 1. Matriks penandaan perlakuan penyangraian pecahan biji kakao

Table 1. Sign matrix for several roasting treatments

Suhu penyangraian, °C Roasting temperature, °C	Beban penyangraian, kg Roasting charge, kg		
	5 kg	7 kg	9 kg
110°C	A ₁	B ₁	C ₁
120°C	A ₂	B ₂	C ₂
130°C	A ₃	B ₃	C ₃

3. Densitas kamba

Densitas kamba biji kakao (D) selama proses penyangraian ditentukan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$D, \text{ kg/m}^3 = \frac{\text{berat bahan, kg} \quad \text{weight, kg}}{\text{volume bahan, m}^3 \quad \text{volume, m}^3} \dots\dots\dots 3$$

Penentuan densitas kamba dilakukan dengan cara memasukan sejumlah contoh bahan (kg) ke dalam gelas ukur pada volume tertentu tanpa adanya tekanan (m³).

4. Suhu sangrai

Suhu yang merupakan tolok ukur energi termal, diamati dengan sensor suhu *Ni-CrNi* yang dipasang di beberapa lokasi yang mewakili untuk analisis termal, yaitu :

- A = suhu bahan, °C (*temperature of dried cocoa cotyledon, °C*)
- B = suhu ruang sangrai, °C (*roasting chamber temperature, °C*)
- C = suhu tempering, °C (*tempering temperature, °C*)
- D = suhu tungku, °C (*furnace temperature, °C*)
- E = suhu asap, °C (*smoke temperature, °C*).

Suhu dicatat setiap interval 5 menit dengan menggunakan data *acquisition FLUKE* dan komputer sebagai pencatu data.

5. Kebutuhan Daya

Daya (P) yang dibutuhkan mesin dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P, \text{ Watt} = I \times V \dots\dots\dots 4$$

- I = arus yang terukur pada saat mesin beroperasi (Ampere),
- V = tegangan (Volt).

6. Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar (Bbm) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Bbm, L = (V_0 - V_t) \dots\dots\dots 5$$

- V₀ = volume bahan bakar awal, liter (*initial volume of kerosene, liter*).
- V_t = volume bahan bakar setelah proses penyangraian selesai, liter (*final volume of kerosene, liter*).

B. Uji organoleptik

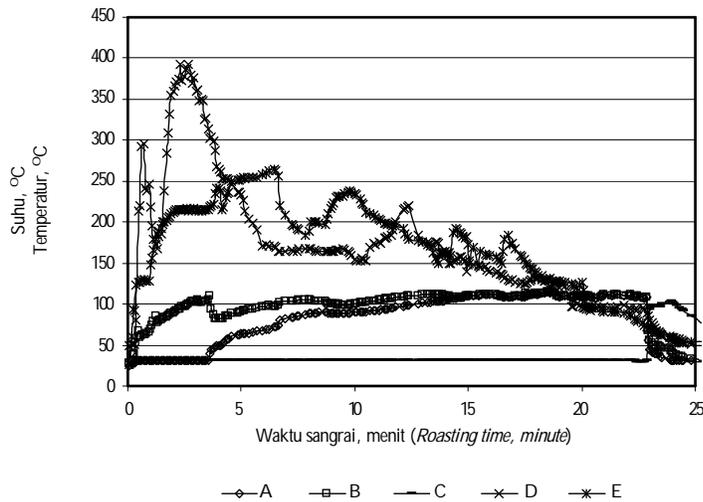
Uji Organoleptik berupa uji cita rasa, dilakukan di Laboratorium Pasca Panen, dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh suhu dan lama penyangraian terhadap cita rasa pasta kakao yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Sangrai

Burner berbahan bakar minyak tanah mampu membangkitkan suhu di dalam ruang sangrai antara 110–130°C. Fluktuasi suhu sangrai yang dihasilkan *burner* minyak tanah

pada kisaran 2–3°C tidak dapat dihindari meskipun tingkat pembakaran telah diatur dengan baik. Namun demikian, perilaku suhu yang dihasilkan tetap stabil pada kisaran 110–130°C sesuai perlakuan suhu penyangraian yang diinginkan. Ruang sangrai mendapatkan energi panas melalui proses perpindahan panas konveksi yaitu panas hasil pembakaran minyak tanah yang langsung menyentuh dinding silinder sangrai dan perpindahan panas radiasi dari permukaan api yang bersuhu tinggi ke permukaan bawah silinder. Pada awal proses pembakaran, diperlukan waktu yang cukup untuk menjaga suhu di dalam ruang sangrai stabil

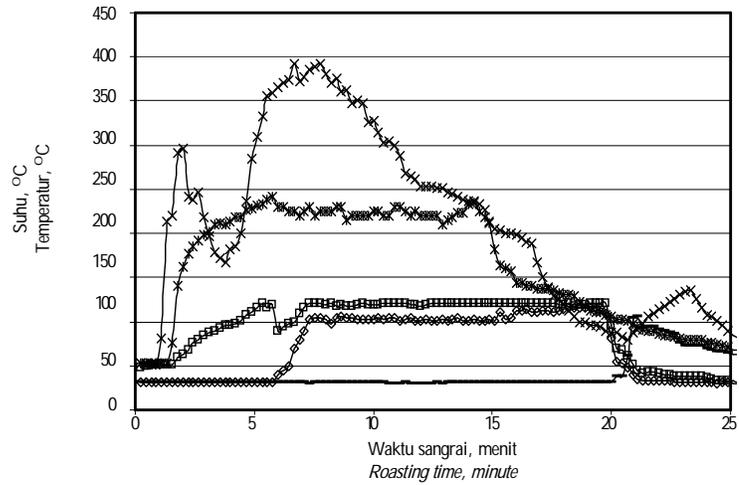


Keterangan (Notes):

- A = suhu bahan, °C (*temperature of dried cocoa cotyledon, °C*)
- B = suhu ruang sangrai, °C (*roasting chamber temperature, °C*)
- C = suhu tempering, °C (*tempering temperature, °C*)
- D = suhu tungku, °C (*furnace temperature, °C*)
- E = suhu asap, °C (*smoke temperature, °C*).

Gambar 2. Profil suhu dari 5 titik pengamatan mesin sangrai pada suhu ruang sangrai terjaga stabil 110°C.

Figure 2. Temperature profile from five set points at 110°C constant roasting temperature.

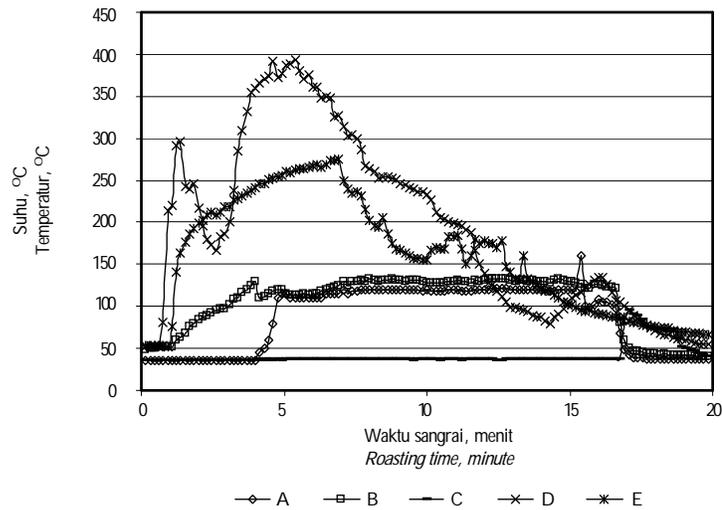


—◇— A —□— B ——— C —×— D —*— E

Keterangan A, B, C, D, E sama dengan Gambar 2 (Information of A, B, C, D, E similar with figure 2).

Gambar 3. Profil suhu dari 5 titik pengamatan mesin sangrai pada suhu ruang sangrai terjaga stabil 120°C.

Figure 3. Temperature profile from fifth set points at 120°C constant roasting temperature.



—◇— A —□— B ——— C —×— D —*— E

Keterangan A, B, C, D, E sama dengan Gambar 2 (Information of A, B, C, D, E similar with figure 2).

Gambar 4. Profil suhu dari 5 titik pengamatan mesin sangrai pada suhu ruang sangrai terjaga stabil 130°C.

Figure 4. Temperature profile from five set points at 130°C constant roasting temperature.

pada kisaran tersebut. Tungku sebagai sumber panas memiliki suhu yang paling tinggi, dan mampu mencapai 400°C. Suhu asap yang masih relatif tinggi antara 150–225°C sebelum meninggalkan cerobong asap memberikan pengaruh positif untuk membantu stabilitas panas di dinding silinder sangrai pascapemanasan dari ruang bakar (tungku). Setelah memindahkan sebagian energi panas ke dinding silinder, maka suhu asap turun dan biji kakao sebagai penerima panas menunjukkan nilai suhu yang paling rendah.

Waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan suhu stabil di dalam ruang sangrai pada kisaran 110–130°C adalah antara 4–7 menit. Untuk mencapai suhu yang sama, maka waktu pembangkitan panas akan lebih cepat jika sumber panas menggunakan bahan bakar LPG (*Liquid Petroleum Gas*) (Sri-Mulato, 2002). Kesempurnaan reaksi pembakaran sangat tergantung pada kemampuan bercampur (*mixing*) antara senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam bahan bakar dengan oksigen yang terdapat di udara sekitar (Smith & Van Ness, 1985). Secara umum, suhu di dalam ruang sangrai pada semua perlakuan penyangraian akan turun pada saat biji kakao mulai dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam ruang sangrai. Suhu biji kakao yang semula setara dengan suhu kamar, yaitu antara 28–30°C, akan cepat menyerap panas jika berada pada lingkungan dengan suhu yang lebih tinggi. Profil peningkatan suhu dari empat titik pengukuran yaitu suhu bahan, suhu ruang sangrai, suhu tungku dan suhu asap ditampilkan pada Gambar 2, 3 dan 4, menunjukkan pola yang sama.

Perbedaan terletak pada panjang pendeknya waktu pemanasan awal dan waktu sangrai yang disebabkan oleh perbedaan perlakuan beban penyangraian.

Kadar Air Bahan

Proses sangrai membutuhkan energi panas untuk menumbuhkan aroma dan cita rasa khas. Perubahan warna mengindikasikan terjadinya proses Maillard selama proses penyangraian, yaitu beberapa senyawa gula akan menjadi karamel dan menimbulkan aroma. Senyawa yang menyebabkan rasa sepat atau rasa asam seperti tanin dan asam asetat akan hilang dan sebagian lainnya akan bereaksi dengan asam amino membentuk senyawa melanoidin (Sivetz & Desrosier, 1979). Energi panas menyebabkan air yang terkandung di dalam bahan akan berubah menjadi fase gas dan menguap keluar dari pori-pori bahan. Semakin tinggi energi panas yang dapat terserap, maka jumlah air yang dapat diuapkan akan semakin banyak. Namun demikian, karakteristik fisik dan kimia bahan akan sangat berpengaruh pada kecepatan penguapan dan mutu produk akhir yang dihasilkan. Menurut Syarief & Halid (1993), proses pemanasan dengan suhu tinggi dapat berakibat pada terbentuknya suatu lapisan luar yang keras (*case hardening*) sehingga menghalangi penguapan air dari dalam bahan. Selain itu, proses penguapan bahan lain yang memiliki potensi sebagai pembentuk aroma dan cita rasa produk akhir perlu ditekan serendah mungkin (Sri-Mulato *et al.*, 1997).

Gambar 5, 6 dan 7 menunjukkan profil penurunan kadar air dari dalam biji kakao selama proses penyangraian dengan

perlakuan beban dan suhu di dalam ruang sangrai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses penguapan air akan berlangsung cepat dengan semakin tingginya suhu yang digunakan di dalam ruang sangrai dan semakin rendahnya beban sangrai. Suhu merupakan tolok ukur kandungan energi panas dan kelembaban udara menunjukkan kemampuan udara untuk menyerap uap air (McDonald & Freire *cit.* Sri-Mulato *et al.*, 1997). Adanya perbedaan tekanan udara yang tinggi antara ruang sangrai dengan tekanan udara luar yang rendah akan membantu aliran uap air keluar dari silinder sangrai.

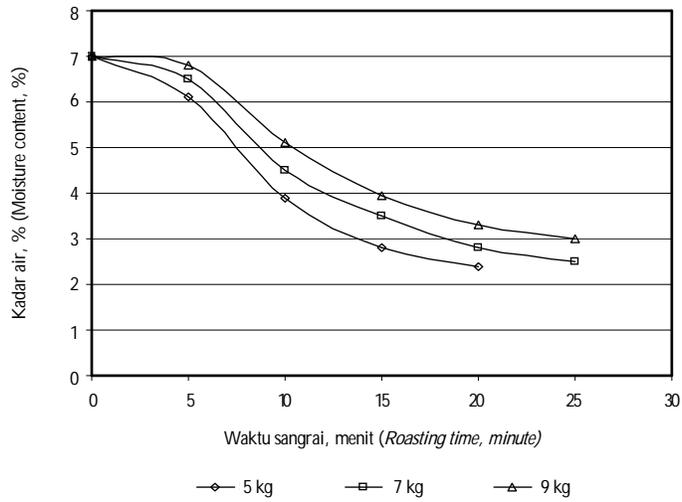
Pada awal proses penyangraian, terutama pada 5 menit pertama, penurunan kadar air bahan berlangsung sangat lambat. Kondisi tersebut disebabkan energi panas digunakan untuk memanaskan lapisan air di permukaan bahan sebelum terjadinya proses penguapan. Air yang menguap merupakan air adsorpsi yaitu air yang terikat pada permukaan bahan yang merupakan kesetimbangan dari uap air yang ada di udara sekeliling (Syarif & Halid, 1993). Pada 5–10 menit berikutnya, penurunan kadar air bahan relatif lebih cepat dan diakhiri pada kadar air 2,5–3%. Air yang diuapkan pada tahap ini merupakan air kapiler, yaitu air yang terikat di dalam rongga-rongga jaringan kapiler yang halus dari biji kakao. Tahapan proses penyangraian tersebut menunjukkan bahwa energi panas yang dihasilkan oleh *burner* berbahan bakar minyak tanah sebagai sumber energi penyangraian mencukupi dan laju aliran uap air dapat terjadi oleh adanya perbedaan tekanan udara yang tinggi antara tekanan

udara luar dengan tekanan udara di dalam silinder sangrai.

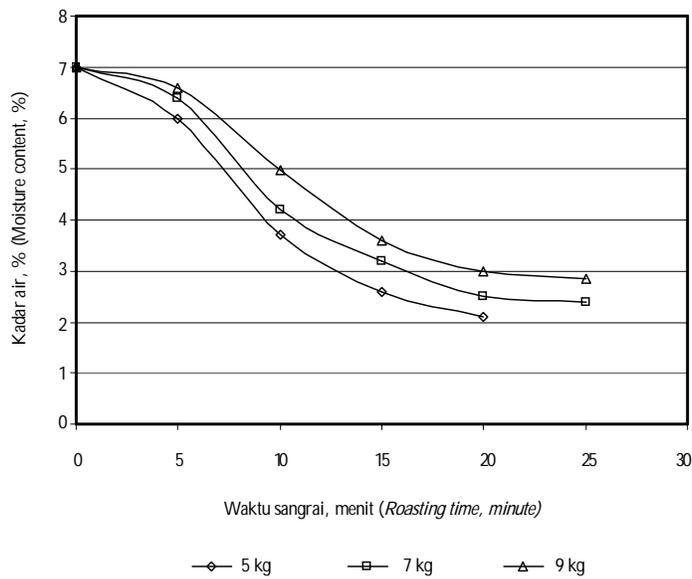
Dengan semakin besar beban sangrai, maka waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan sejumlah air yang terkandung di dalam biji kakao akan semakin lama. Hal ini disebabkan waktu yang diperlukan oleh energi panas untuk memanaskan, pergerakan partikel-partikel air dari lapisan terdalam ke lapisan terluar dari biji kakao serta menguapkannya semakin lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga tingkatan beban penyangraian, waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan air hingga diperoleh kadar air biji kakao pascasangrai 2,5–3% adalah selama 15 hingga 25 menit, tergantung suhu sangrai dan jumlah beban penyangraian.

Densitas Bahan

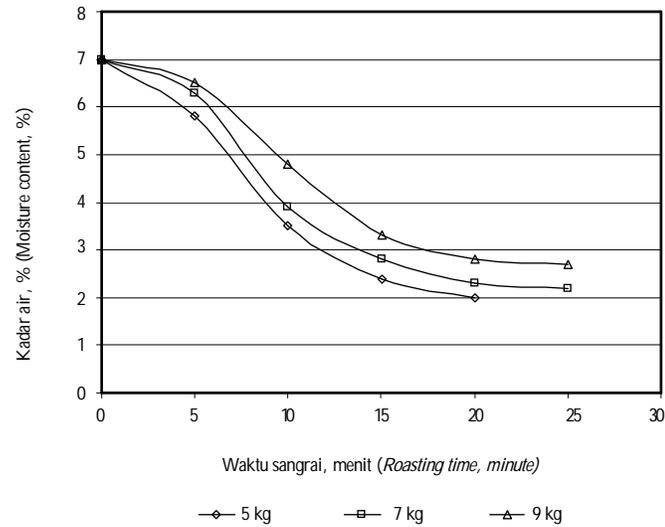
Densitas merupakan salah satu sifat dasar setiap bahan pangan yang selain sangat tergantung pada karakteristik ukuran bahan juga berhubungan dengan porositas bahan tersebut (Wirakartakusumah *et al.*, 1988). Biji kakao merupakan salah satu produk perkebunan yang memiliki sifat higroskopis, yaitu mudah menyerap uap air dalam kondisi lembab dan melepas uap air dalam kondisi suhu tinggi. Sebelum proses penyangraian, bahan uji berupa biji kakao mulia memiliki nilai densitas kamba sekitar 0,45 g/ml. Pada Gambar 8, 9 dan 10 terlihat bahwa pada suhu penyangraian yang sama, nilai densitas kamba bahan uji akan semakin rendah seiring dengan lamanya waktu penyangraian. Bersamaan dengan proses penguapan air,



Gambar 5. Kadar air biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 110°C).
Figure 5. Moisture content of cocoa bean as function of roasting time (at 110°C)



Gambar 6. Kadar air biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 120°C).
Figure 6. Moisture content of cocoa bean as function of roasting time (at 120°C).



Gambar 7. Kadar air biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 130°C).

Figure 7. Moisture content of cocoa bean as function of roasting time (at 130°C).

beberapa senyawa volatil yang terkandung di dalam biji kakao ikut teruapkan. Peristiwa tersebut ditandai dengan penurunan kerapatan curah sebagai akibat perubahan fisik biji kakao seperti pengembangan volume (*swelling*) dan pembentukan pori-pori di dalam jaringan sel sehingga berat biji kakao per satuan volume menjadi lebih kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin banyak air yang diuapkan dan pengembangan bahan uji karena proses pemanasan mengakibatkan pori-pori bahan uji menjadi lebih besar. Dengan semakin tinggi suhu penyangraian, maka akan semakin mempercepat pengembangan volume yang disebabkan oleh pembesaran pori-pori di dalam bahan. Selain itu, proses pemanasan akan mengakibatkan turunnya massa bahan uji karena proses penguapan

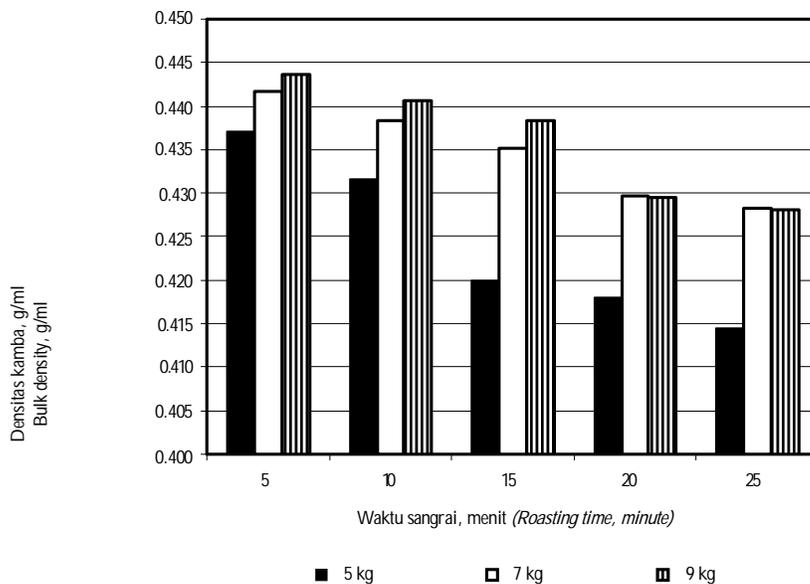
air semakin besar sehingga nilai densitas kamba menjadi semakin rendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada beban sangrai 5 kg, setelah proses penyangraian berlangsung selama 20 menit pada perlakuan suhu sangrai 110°C, 120°C dan 130°C terjadi persentase penyusutan densitas kamba bahan uji masing-masing sebesar 7,1%; 9,5% dan 12,2%. Pada beban sangrai 7 kg, setelah proses penyangraian berlangsung selama 20 menit pada perlakuan suhu sangrai 110°C, 120°C dan 130°C terjadi persentase penyusutan densitas kamba bahan uji masing-masing sebesar 4,5%; 5,1% dan 6,1%. Pada beban sangrai 9 kg, setelah proses penyangraian berlangsung selama 20 menit, pada perlakuan suhu sangrai 110°C, 120°C dan 130°C terjadi

persentase penyusutan densitas kamba bahan uji masing-masing sebesar 4,6%; 4,9% dan 5,3%. Henderson & Perry (1970) menyebutkan bahwa secara fisik mekanis, proses pengecilan produk pangan yang telah mengalami pengembangan volume akan menjadi lebih mudah dan daya yang dibutuhkan akan lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan yang memiliki sifat ulet atau *rubbery*. Oleh karena itu, dengan semakin besar persentase penyusutan bahan maka energi yang dibutuhkan akan semakin rendah, yaitu pada proses lanjutan seperti pemastaan.

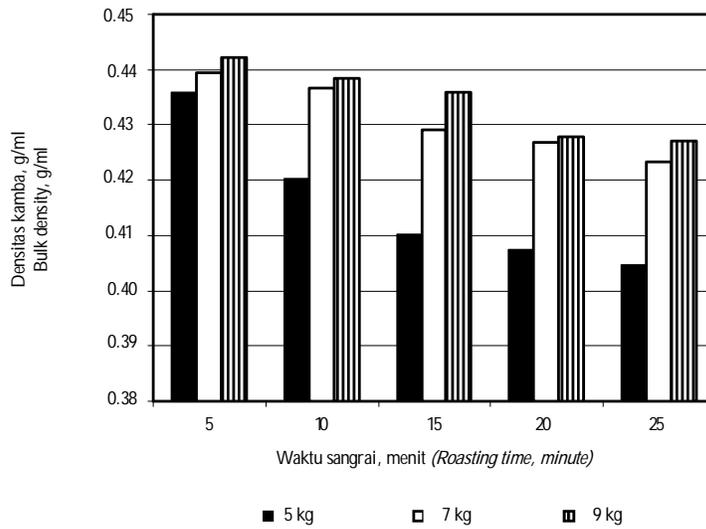
Kapasitas Kerja dan Kebutuhan Daya

Kapasitas kerja mesin sangrai dari beberapa perlakuan suhu dan beban penyangraian ditampilkan pada Gambar 11, sedangkan persamaan garis linier regresi yang terbentuk dari kedua perlakuan tersebut ditampilkan pada Tabel 2. Kapasitas kerja mesin sangrai akan semakin tinggi dengan semakin tingginya suhu penyangraian. Dengan semakin tinggi energi panas yang tersedia, maka proses penguapan sejumlah air di dalam biji kakao akan semakin banyak dan cepat. Jika memungkinkan, suatu alat dapat menjamin diperolehnya keseragaman mutu selama proses berlangsung, maka

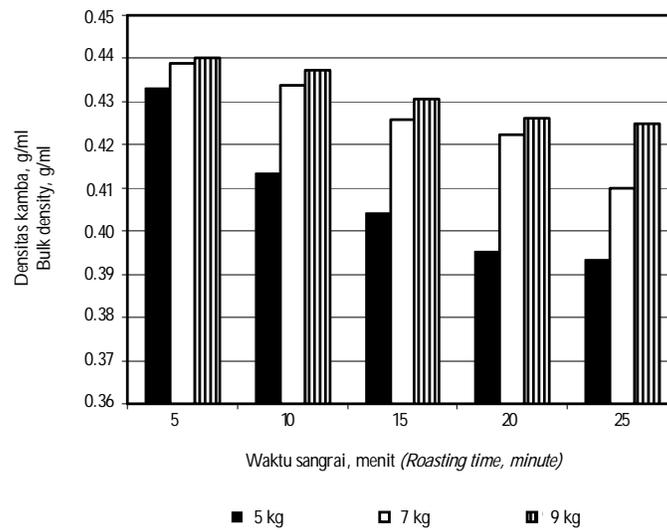


Gambar 8. Densitas biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 110°C).

Figure 8. Bulk density of cocoa bean as function of roasting time (at 110°C).



Gambar 9. Densitas biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 120°C).
 Figure 9. Bulk density of cocoa bean as function of roasting time (at 120°C).

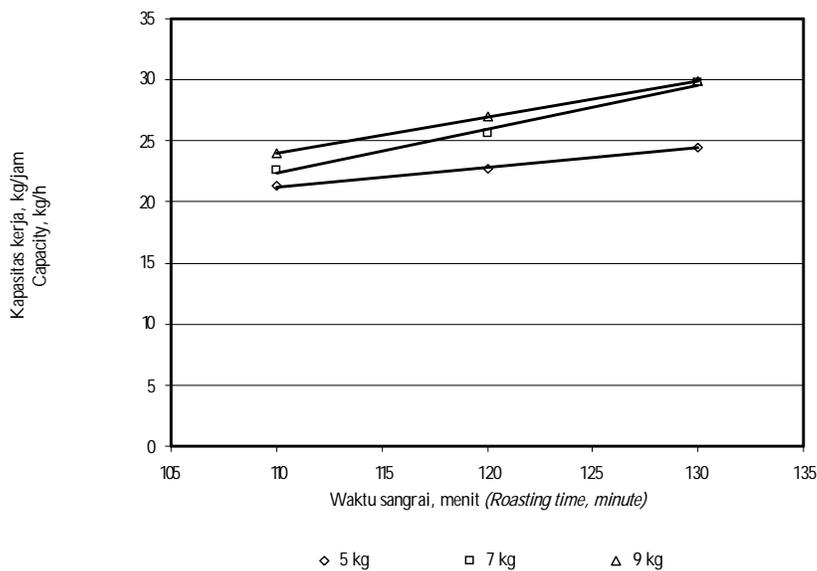


Gambar 10. Densitas biji kakao sebagai fungsi waktu sangrai (suhu ruang sangrai 130°C).
 Figure 10. Bulk density of cocoa bean as function of roasting time (at 130°C).

sebaiknya digunakan pada kapasitas yang maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi panas yang dihasilkan mampu diserap dengan baik oleh biji kakao dan dimanfaatkan untuk menguapkan air dalam jumlah yang lebih besar, sehingga energi panas yang ada di dalam ruang sangrai lebih efisien digunakan. Selain itu, adanya mekanisme pembalikan yang baik dengan diletakkannya sirip-sirip pembalik di bagian dalam dinding silinder sangrai memungkinkan biji kakao dapat menyerap panas lebih merata dan seragam. Penggunaan beban yang berlebih selama penyangraian dapat menyebabkan putaran silinder sangrai menjadi lebih berat dan proses pembalikan tidak berlangsung efektif yang berakibat pada

keseragaman hasil sangrai tidak dapat terjamin dengan baik.

Dengan asumsi bahwa proses penyangraian berakhir pada kadar air biji kakao seragam sebesar 3%, maka kapasitas kerja mesin sangrai tertinggi diperoleh pada beban sangrai 9 kg dan suhu sangrai 130°C, yaitu sebesar 29,9 kg/jam. Kapasitas kerja terendah diperoleh pada beban sangrai 5 kg dan suhu sangrai 110°C yaitu sebesar 21,3 kg/jam. Tabel 2 menunjukkan persamaan regresi linier dan koefisien korelasi (R^2) hubungan antara suhu di dalam silinder sangrai dengan kapasitas kerja mesin yang dihasilkan. Persamaan regresi linier tersebut sangat berguna karena dapat digunakan untuk memprediksi kapasitas kerja yang dihasilkan



Gambar 11. Kapasitas kerja mesin sangrai tipe silinder horizontal untuk penyangraian biji kakao.
 Figure 11. Capacity of a horizontal cylinder type cocoa roaster for dried cocoa bean roasting.

jika mesin sangrai beroperasi pada kisaran suhu sangrai antara 110–130°C, dengan beban sangrai antara 5–9 kg. Nilai koefisien korelasi tertinggi diperoleh pada beban sangrai 9 kg, diikuti beban sangrai 5 kg dan terendah pada beban sangrai 7 kg. Nilai tersebut menunjukkan hubungan perlakuan suhu pada beban sangrai 9 kg terhadap kapasitas kerja mesin ternyata lebih baik jika dibandingkan beban sangrai 5 dan 7 kg. Namun demikian, kapasitas kerja mesin yang tinggi belum menjamin diperolehnya kondisi operasional mesin yang optimal karena kapasitas kerja yang tinggi belum menjamin diperolehnya mutu produk akhir yang terbaik.

Semakin besar kapasitas kerja yang dihasilkan oleh sebuah mesin, maka semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mesin tersebut. Daya penggerak yang dibutuhkan untuk operasional suatu mesin sangat ditentukan oleh nilai putaran mesin (n), torsi yang dihasilkan oleh mesin (m) dan efisiensi mesin (h) sebagaimana ditampilkan pada persamaan 6 sebagai berikut :

$$P, kW = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot n}{6000 \cdot \eta} \dots\dots\dots 6$$

Selain dengan persamaan 6, daya penggerak yang dibutuhkan oleh sebuah mesin juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5. Gambar 12 menunjukkan besarnya daya yang dibutuhkan untuk memutar silinder sangrai dan beban yang ada di dalamnya. Semakin besar daya yang dibutuhkan, maka arus yang mengalir ke dalam motor penggerak akan semakin besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya yang dibutuhkan untuk memutar silinder sangrai dalam kondisi kosong sebesar 400 Watt. Friksi-friksi yang terjadi di dalam sistem transmisi, mulai dari sumber daya penggerak berupa motor listrik ke roda gigi reduksi (*gear box*) sampai dengan gesekan antara bantalan silinder baja dengan sabuk baja yang melingkari silinder sangrai, mengakibatkan daya yang dibutuhkan menjadi sangat besar. Salah satu penyebab terjadinya kehilangan daya adalah adanya hambatan atau friksi dalam suatu sistem penerusan daya (Henderson & Perry, 1970).

Kebutuhan daya untuk menggerakkan mesin sangrai mengikuti persamaan regresi linier $Y = 10,5X + 547,17$ dengan nilai koefisien korelasi 0,9992. Dalam hal ini X

Tabel 2. Persamaan linier regresi untuk memprediksi kapasitas kerja mesin sangrai
 Table 2. *Linier regression equations for predicting of a horizontal cylinder type cocoa roaster capacity*

Beban sangrai, kg <i>Roasting charge, kg</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linier regression equations</i>	Koefisien korelasi, r <i>Correlation coef, r</i>
5	$Y = 0.1577X + 3.9064$	0.9984
7	$Y = 0.3596X - 17.151$	0.9894
9	$Y = 0.2936X - 8.2766$	0.9998

Keterangan (*Notes*) : X adalah suhu sangrai (°C) dan Y adalah kapasitas kerja mesin (kg/jam).
X is roasting temperature (°C) and Y is capacity (kg/h).

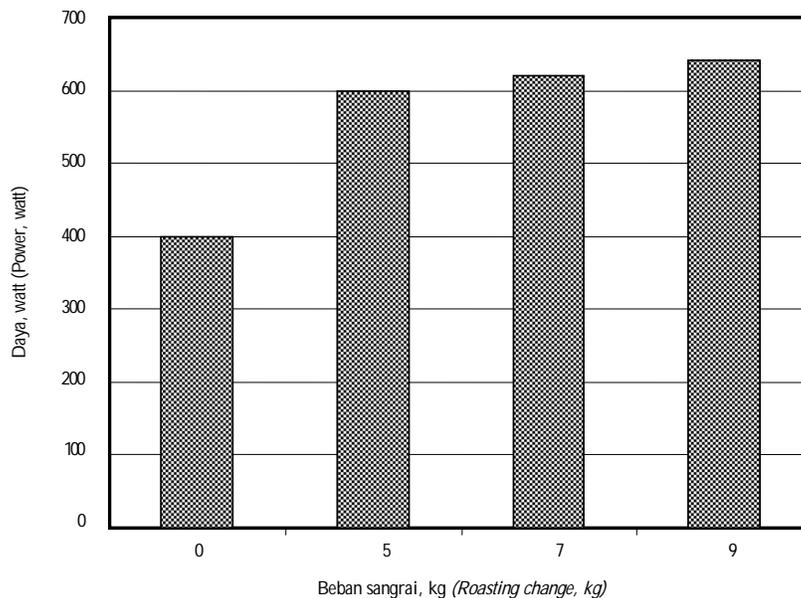
adalah beban sangrai (kg) dan Y adalah daya (Watt). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan silinder sangrai beserta bebannya dan hanya berlaku pada kisaran beban sangrai antara 5–9 *kg/batch*.

Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan salah satu komponen penting yang akan sangat berpengaruh pada kesempurnaan proses penyangraian. Menurut Smith & Van Ness (1985), salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan reaksi pembakaran adalah kemampuan bercampur (*mixing*) antara senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam bahan bakar dengan oksigen dari udara. Jenis bahan bakar yang

digunakan sebagai sumber panas penyangraian adalah minyak tanah yang memiliki nilai panas sebesar 40.071 kJ/kg.

Kebutuhan bahan bakar minyak tanah untuk proses sangrai dengan beberapa perlakuan suhu penyangraian ditampilkan pada Gambar 13. Kebutuhan bahan bakar minyak sebagai sumber panas akan semakin meningkat dengan semakin tingginya suhu ruang sangrai dan beban penyangraian. Tabel 3 menunjukkan persamaan regresi linier dan koefisien korelasi hubungan antara suhu di dalam silinder sangrai dengan kebutuhan bahan bakar. Persamaan regresi linier tersebut berguna untuk memprediksi bahan bakar yang dibutuhkan untuk satu kali proses penyangraian jika mesin sangrai beroperasi pada kisaran suhu sangrai antara 110–130°C dengan beban sangrai antara 5–9 kg dan



Gambar 12. Daya yang dibutuhkan mesin sangrai pada beberapa beban penyangraian.

Figure 12. Power consumption from several roasting charge treatments.

telah diperoleh suhu ruang sangrai yang dikehendaki (tanpa proses pemanasan awal).

Sri-Mulato (2002) menyebutkan bahwa efisiensi pembakaran bahan bakar minyak antara 50–75%. Selain memiliki viskositas yang tinggi, minyak tanah pada kondisi lingkungan berbentuk fase cair dan sukar bercampur secara sempurna dengan oksigen (fase gas). Hal tersebut dapat menyebabkan proses pembakaran menjadi kurang sempurna, dan produksi panas pembakaran menjadi tidak optimum. Salah satu cara meningkatkan efisiensi pembakaran minyak adalah dengan cara evaporasi atau atomisasi. Bentuk fisik minyak tanah yang semula cair dikonversi menjadi fase gas sebelum dimasukkan ke dalam alat pembakar. Oleh karena itu, mesin sangrai tipe silinder horisontal menggunakan alat pembakar (*burner*) minyak tanah tipe evaporasi dan atomisasi yang bekerja secara berurutan.

Mutu Produk

Kualitas cita rasa coklat dapat diketahui melalui uji cita rasa (*organoleptic*

test). Selama proses penyangraian, biji kakao mengalami perubahan fisik maupun kimia yang menyebabkan kehilangan berat cukup signifikan karena penguapan air dan beberapa senyawa kimia volatil serta pirolisis senyawa hidrokarbon atau reaksi pencokelatan (*Maillard process*). Oleh karena itu, selain keberadaan senyawa calon cita rasa, kesempurnaan reaksi sangrai dipengaruhi oleh faktor panas dan waktu penyangraian (Davids, 1996; Sivetz & Desrosier, 1979).

Beberapa parameter cita rasa pasta kakao yang diperoleh dari beberapa perlakuan proses sangrai ditampilkan pada Tabel 4. Parameter cita rasa tersebut meliputi aroma, *flavour*, *acidity*, *bitterness*, *astringency* dan *burnt* dengan kisaran nilai 0 (tidak ada) sampai dengan 10 (tinggi) dan parameter kesukaan dengan kisaran nilai 1 (sangat tidak suka) sampai dengan 5 (sangat suka).

Cita rasa dan aroma khas coklat akan terbentuk selama proses penyangraian. Tingkat sangrai sangat berpengaruh terhadap pembentukan komponen-komponen cita rasa dan aroma, serta tingkat kesukaan konsumen

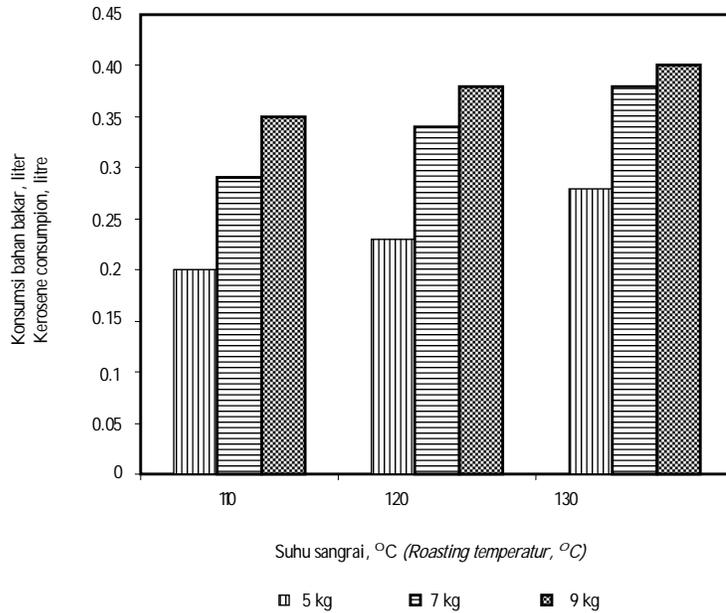
Tabel 3. Persamaan linier regresi untuk memprediksi kebutuhan bahan bakar

Table 3. *Linear regression equations for predicting of kerosene consumption*

Beban sangrai, kg <i>Roasting charge, kg</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linear regression equations</i>	Koefisien korelasi, r <i>Correlation coef, r</i>
5	$Y = 0.004X - 0.2433$	0.9796
7	$Y = 0.0045X - 0.2033$	0.9959
9	$Y = 0.0025X + 0.0767$	0.9868

Keterangan (*Note*) : X adalah suhu sangrai (°C) dan Y adalah kebutuhan bahan bakar (liter).

X is roasting temperature (°C) and Y is kerosene consumption (litre).



Gambar 13. Kebutuhan bahan bakar minyak untuk satu kali proses penyangraian.

Figure 13. Kerosene consumption for a time roasting process.

terhadap pasta coklat yang dihasilkan. Secara umum, Tabel 4 menunjukkan bahwa pengembangan aroma dan *flavour* coklat terjadi dengan semakin tingginya suhu penyangraian. Menurut Lopez & Mc Donald (1981), rasa dan aroma coklat dapat dikembangkan selama proses sangrai. Rasa dan aroma coklat sangrai sangat ditentukan oleh suhu dan lama penyangraian, kadar air, ukuran biji dan bentuk biji (Lopez & Mc Donald, 1981). Namun demikian, pengendalian proses sangrai yang kurang baik dapat menyebabkan pasta coklat yang dihasilkan akan memiliki cita rasa hangus atau gosong (*burnt*). Fenomena tersebut terjadi karena energi panas yang berlebihan digunakan untuk proses pirolisis yang pada dasarnya merupakan reaksi dekomposisi

senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam biji kakao (Sivetz & Desrosier, 1979).

Rasa *bitterness* disebabkan oleh kandungan theobromin dan antosianin pada kakao. Biji kakao yang tidak terfermentasikan dengan baik akan memiliki kandungan theobromin dan antosianin yang tinggi (Yusianto *et al.*, 1997). Rasa *astringency* dapat disebabkan oleh kandungan antosianin pada biji kakao. Antosianin sebagian terurai selama proses fermentasi berlangsung karena masuknya asam pada keping biji (Yusianto *et al.*, 1997). Rasa *acidity* disebabkan oleh asam asetat dan asam laktat hasil fermentasi (Jinap, 1994). Dengan semakin tebal pulpa yang menempel pada permukaan biji maka potensi rasa *acidity* yang dihasilkan akan lebih tinggi (Clapperton, 1994). Parameter

Tabel 4. Hasil uji cita rasa pasta coklat dari beberapa perlakuan penyangraian
 Table 4. *Organoleptic score of chocolate paste from several roasting treatments*

Kode Code	Nilai [Score]						Kesukaan Likely
	Aroma	Flavour	Acidity	Bitterness	Astringency	Burnt	
A ₁	3	3	5.2	5.4	4.8	1.8	2.6
A ₂	4.4	4.4	5.2	5	4.4	2.2	4
A ₃	4.8	4.8	5.8	5.6	5.4	2.4	3.4
B ₁	4.6	4.6	5.2	5	4.6	1	3.8
B ₂	4.8	5.2	5.4	5.2	4.8	0.8	4.2
B ₃	4.6	4.8	4	4	3.2	0.8	3.2
C ₁	4.6	4.6	5.8	6	5.2	0.7	3.2
C ₂	4.6	4	6	5.6	5	0.8	3
C ₃	3.8	3.8	4.6	5.8	4.8	0.6	3.2

rasa *bitterness*, *acidity* dan *astringency* lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi pengolahan sebelumnya, yaitu proses fermentasi dan pengeringan. Salah satunya terlihat dari kadar kulit (*shell*) bahan uji yang relatif cukup tinggi yaitu antara 14–16%, sementara kadar yang diperkenankan adalah 13% (DSN, 2002).

Dari penilaian panelis diketahui bahwa tingkat kesukaan tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu sangrai 120°C dengan beban sangrai 7 kg. Nilai dari beberapa parameter cita rasa adalah *aroma*, *flavour*, *acidity*, *bitterness*, *astringency*, dan *burnt* masing-masing 4,8; 5,2; 5,4; 5,2; 4,8 dan 0,8 pada skala 10. Panelis memberikan nilai terhadap tingkat kesukaan sebesar 4,2 pada skala 5.

KESIMPULAN

Kinerja optimum untuk memperoleh tingkat kesukaan pasta coklat terbaik

diperoleh pada beban sangrai 7 kg, dan suhu penyangraian 120°C. Kapasitas kerja yang diperoleh sebesar 25,57 kg/jam. Nilai dari beberapa parameter cita rasa antara lain *aroma*, *flavour*, *acidity*, *bitterness*, *astringency* dan *burnt* masing-masing 4,8; 5,2; 5,4; 5,2; 4,8 dan 0,8 pada skala 10. Panelis memberikan nilai terhadap tingkat kesukaan sebesar 4,2 pada skala 5. Waktu sangrai untuk memperoleh kadar air 2,5–3% diperoleh setelah proses penyangraian berlangsung antara 15–25 menit, tergantung suhu dan beban penyangraian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Eko Budi Moertanto, mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember atas segala bantuan yang telah diberikan sampai dengan selesainya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, U.; I D.M. Subrata & S. Gunayanti (2004). Pemutuan buah mangga berdasarkan penampakannya menggunakan pengolahan citra. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 18, 1–8.
- Badan Agribisnis Departemen Pertanian (1998). *Standar Prosedur Operasional (SPO) Biji Kakao di Tingkat Hilir*. Badan Agribisnis Departemen Pertanian, Jakarta.
- Budiastra, I.W.; D. Saputra & H.K. Purwadaria (1995). Pengkajian sifat fisik mangga gedong dengan image processing. *Prosiding Seminar Peranan Penelitian Teknik Pertanian dalam Menunjang Era Industrialisasi Pertanian*, Bogor.
- Clapperton, J.F. (1994). A review of research to identify the origins of cocoa flavour characteristics. *Cocoa Growers Bulletin*, 48, 7–16.
- Davids, K. (1996). *Home Coffee Roasting*. St. Martin's Griffin, New York.
- Dewan Standarisasi Nasional (2002). *Standar Nasional Indonesia : Biji Kakao. SNI No. 01-2323-2002*. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Henderson, S.M. & Perry (1970). *Agricultural Process Engineering*. Second Edition. The AVI Publishing, Westpot, Conneticut.
- Jinap, S. (1994). Organic acids in cocoa beans : review. (Abstracts) *Cocoa Growers Bulletin*, 48, 65–66.
- Jinap, S.; W.I. Wan Rosli ; A.R. Russly & L.M. Nordin (1998). Effect roasting time and temperature on volatile component profiles during nib roasting of cocoa beans (*Theobroma cacao*). *J. Sci. Food. Agric.*, 77, 441–448.
- Kleinert, I.J. (1966). *Some Easpects of Cocoa Bean Roasting. Twenty Years of Confectionary and Chocolate Progress*. The AVI Publishing Company, Inc. Wesport, Conecticut.
- Lopez, A.S. & Mc. Donald (1981). A definition of descriptors to be used for the qualification of chocolate flavours in flavor testing, *Revista Theobroma*, 11, 209–217.
- Lopez, A.S. & Mc. Donald (1981). A definition of descriptors to be used for the qualification of chocolate flavours in flavor testing, *Revista Theobroma*, 11, 209–217.
- Sivetz, M. & N.W. Desrosier (1979). *Coffee Technology*. The AVI Publ. Inc., Connecticut.
- Smith, J.M. & H.C. Van Ness (1985). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 3rd ed. International Student Edition. McGraw-Hill Book Company Inc., Kogakusha. Tokyo.
- Sri-Mulato (2002). Perancangan dan pengujian mesin sangrai biji kopi tipe silinder. *Pelita Perkebunan*, 18, 31–45.
- Sri-Mulato; S. Widyotomo; Misnawi & E. Suharyanto (2005). *Pengolahan produk primer dan sekunder kakao*. Edisi II. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember.
- Sri-Mulato; O. Atmawinata; Yusianto; Handaka & W. Muehlbauer (1997). Kinerja model unit sentralisasi pengolahan kakao rakyat skala kelompok tani. *Pelita Perkebunan*, 13, 100–114.
- Suhargo (2001). *Daya Saing Kakao dan Produk Kakao, Training Quality Assurance in Cacao Processing*. Program Studi Teknologi Hasil Perkebunan, FTP, UGM. Yogyakarta.

- Suroso & F. Maulani (2003). Evaluasi mutu ketimun Jepang (*Cucumis sativus* L.) berdasarkan bentuk dengan perceptron. *Buletin Keteknikan Pertanian*, 17, 14–21.
- Syarief, R. & H. Halid (1993). *Teknologi Penyimpanan Pangan*. ARCAN, Jakarta.
- Widyotomo, S.; Sri-Mulato; O. Atmawinata & Yusianto (1998). Kinerja mesin sortasi biji kakao tipe silinder tunggal berputar. *Pelita Perkebunan*, 14, 197–210.
- Wirakartakusumah, M.A.; S. Hardjo & P. Haryadi (1988). *Rekayasa Proses Pangan*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Yusianto; H. Winarno & T. Wahyudi (1997). Mutu dan pola cita rasa biji beberapa klon kakao lindak. *Pelita Perkebunan*, 13, 171–187.
