

- Sulistiyowati (2002). Beberapa bentuk penyajian seduhan kopi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 18, 25–32.
- Syarief, A.M. & E.A. Nugroho (1992). *Teknik Reduksi Ukuran Bahan*. PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor.
- Syarief, R. & A. Irawati (1988). *Pengetahuan Bahan Untuk Industri Pertanian*. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Widyotomo, S. & Sri-Mulato (2000). Kinerja pengering tipe VIS dengan aliran udara paksaan untuk pengeringan biji kopi Robusta. *Pelita Perkebunan*, 16, 52–64.
- Widyotomo, S.; Sri-Mulato & Edi Suharyanto (2005). Kinerja mesin pemecah biji dan pemisah kulit kakao pascasangrai tipe pisau putar. *Pelita Perkebunan*, 21, 184–199.
- Yusianto (2003). Karakteristik fisik dan cita rasa kopi hasil penyangraian sistem pemanasan langsung. *Pelita Perkebunan*, 19, 152–170.
- Yusianto; Sri-Mulato & Martadinata (2003). Cita rasa kopi biji dan bubuk di pasaran pada beberapa kabupaten di wilayah Jawa Timur. *Pelita Perkebunan*, 19, 39–54.
- \*\*\*\*\*

sangrai yang dikenakan adalah: efisiensi proses pembubukan (rendemen produk) pada 91–98%, konsumsi bahan bakar pada 19–31 ml/kg biji kopi pascasangrai, kehilangan putaran selama proses pembubukan berkisar pada 0,3–1%, sekitar 50–55% bubuk kopi memiliki ukuran lebih kecil dari 230 mesh dan 38–44% memiliki ukuran lebih besar dari 100 mesh, kecerahan produk meningkat 32–38%, densitas kamba menurun 0,6–12,6%, dan kelarutan bubuk kopi 28–30%. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa untuk memperkecil ukuran per kilogram biji kopi Robusta pascasangrai sebesar Rp362,9 pada kapasitas kerja 30 kg/jam dengan tingkat sangrai rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Yose Rizal Kurniawan, mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor atas segala bantuan yang telah diberikan sampai dengan selesainya kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dauids, K. (1996). *Home Coffee Roasting*. St.Martin's Griffin, New York.
- Dewan Standardisasi Nasional (1999). *Standar Nasional Indonesi Nomor 01-2907-1999 : Kopi*. Dewan Standardisasi Nasional. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Hayashi, H.; D. R. Heldman & T. I. Hedrick. (1969). Influence of spray-drying conditions on size and size distribution of nonfat dry milk particels. *Journal of Dairy Science*, 52, 31–37.
- Henderson, A.M. & R.L. Perry (1976). *Agricultural Process Engineering*. Second Edition. The AVI Publishing, Westport, Connecticut.
- International Contact Business System (1998). *Studi Tentang Profil Perkebunan Kopi dan Prospek Investasi Industri Kopi Bubuk di Indonesia*. PT. International Contact Business System, Inc., Jakarta.
- Martadinata, Sri-Mulato & E. Suharyanto (2001). Kajian teknis dan ekonomis alat dan mesin produksi kopi bubuk skala kelompok tani. *Pelita Perkebunan*, 17, 125–136.
- McCabe, W.L., J.C. Smith & P. Harriot. (1999). *Operasi Teknik Kimia*. Eds 4. Penerjemah E. Jasfi. Erlangga. Jakarta.
- Pasaribu, A. (1975). *Pengantar Statistik*. Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Rothfos, B. (1986). *Coffee Consumption*. Gordian-Max Rieck, Hamburg.
- Sivetz, M. & N.W. Desrosier (1979). *Coffee Technology*. The AVI Publ. Co. Westport, Connecticut. USA.
- Sri-Mulato (2002). Perancangan dan pengujian mesin sangrai biji kopi tipe silinder. *Pelita Perkebunan*, 18, 31–45.
- Sri-Mulato; S. Widyotomo & E. Suharyanto (2006). *Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kopi*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember.
- Sulistiyowati (2001). Faktor yang berperan terhadap cita rasa seduhan kopi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 17, 138–148.

Tabel 6. Persamaan regresi linier kelarutan bubuk kopi dari beberapa perlakuan

Table 6. *Linier regression equations of coffee powder solubility of several treatments*

Ukuran biji, mm <i>Beans size, mm</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linier regression equations</i>	Koefisien korelasi, R <i>Coef corelation, R</i>
< 4 mm x 4 mm	$Y = - 0,25X + 30,67$	0,8660
$\geq 4$ mm x 4 mm	$Y = - 0,25X + 30,17$	0,8660
$\delta \geq 5$ mm x 5 mm	$Y = - 0,75X + 30,33$	0,9819

Keterangan (*Notes*): X adalah ukuran biji kopi, mm dan Y adalah kelarutan bubuk kopi, % (*X is beans size, mm and Y is coffee powder solubility, %*).

dari 4 mm dengan tingkat sangrai ringan. Sedangkan nilai kelarutan terendah 28,5% diperoleh pada bubuk kopi yang berasal dari biji kopi berukuran lebih besar atau sama dengan 5 mm dengan tingkat sangrai gelap. Fenomena tersebut terjadi karena bubuk kopi yang berasal dari biji kopi dengan tingkat sangrai gelap terdiri dari partikel dengan komposisi karbon terbesar, dan unsur karbon memiliki sifat sulit terlarut di dalam media pelarut berupa air murni. Yusianto (2003) melaporkan bahwa penyangraian biji kopi dengan level gelap akan menyebabkan kopi gosong, dan lebih bercita rasa arang daripada cita rasa kopi.

Tabel 6 menampilkan persamaan regresi linier hubungan antara tingkat sangrai dan ukuran biji kopi terhadap nilai kelarutan. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kelarutan bubuk kopi yang dihasilkan oleh mesin pembubuk jika akan dipergunakan untuk berbagai ukuran biji dengan kondisi sangrai yang berbeda-beda.

### Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi awal dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian mesin pembubuk biji kopi pascasangrai tipe piringan (*disk mill*) terbatas

di laboratorium dan bengkel pengolahan kopi dan kakao, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia di Jember. Sebagai acuan digunakan bahan baku biji kopi Robusta pascasangrai. Kapasitas kerja mesin untuk pengecilan ukuran biji kopi Robusta pascasangrai sebesar 30 kg/jam. Lama jam kerja per hari adalah 8 jam, upah tenaga kerja sebesar Rp30.000,-/hari. Jika diasumsikan mesin memiliki umur ekonomis selama 10 tahun maka diperoleh nilai depresiasi harga mesin Rp8.634,-. Beban biaya bahan bakar (solar) dan perawatan masing-masing sebesar Rp33.480,-/hari dan Rp15.000,-/hari. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya proses pengecilan ukuran per kilogram biji kopi sangrai sebesar Rp362,9/kg.

### KESIMPULAN

Hasil uji kinerja pembubuk mekanis tipe piringan untuk proses pengecilan ukuran biji kopi Robusta pascasangrai menunjukkan bahwa mesin tersebut memiliki kapasitas kerja antara 31–54 kg/jam tergantung pada tingkat sangrai biji kopi pada putaran poros 5.310–5.610 rpm. Adapun nilai dari beberapa parameter teknis lain yang sangat ditentukan oleh ukuran biji kopi dan tingkat

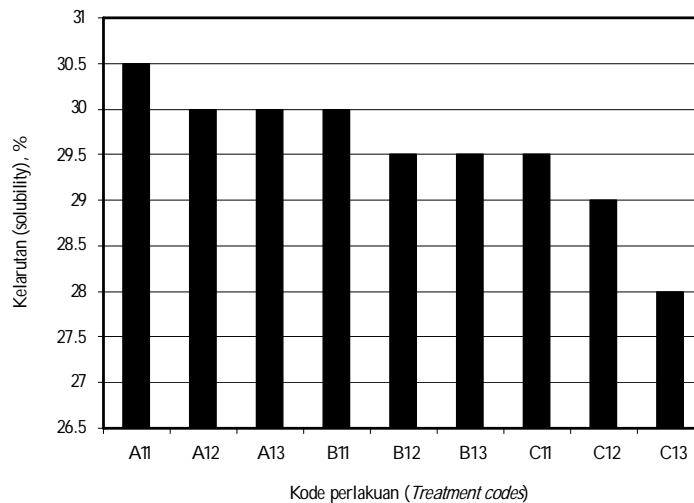
kadar air rendah akan relatif memiliki berat per satuan volume yang lebih rendah jika dibandingkan dengan partikel dengan kadar air yang lebih tinggi. Selain itu, partikel dengan kadar air yang lebih tinggi akan relatif memiliki pori-pori mikro dan makro yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel dengan kadar air lebih rendah. Pengembangan partikel dengan kadar air lebih tinggi akan menempati volume ruang yang lebih besar.

### Keluruhan

Pirolisis merupakan salah satu tahapan proses yang terjadi selama penyangraian biji kopi. Pirolisis pada dasarnya merupakan reaksi dekomposisi senyawa hidrokarbon antara lain karbohidrat, hemiselulosa dan selulosa yang ada di dalam biji kopi sebagai

akibat dari pemanasan. Rendemen sangrai makin rendah dengan tingkat penyangraian makin tinggi (Sri-Mulato, 2002).

Pengaruh proses pembubukan terhadap kelarutan bubuk kopi yang dihasilkan di tampilkan pada Gambar 14. Ukuran partikel biji kopi berpengaruh terhadap proses ekstraksi dalam penyeduhan kopi. Ukuran partikel yang lebih kecil akan semakin memperbesar luas kontak permukaan partikel kopi sangrai, sehingga senyawa pembentuk cita rasa dan senyawa penyegar mudah larut di dalam penyeduh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kelarutan akan meningkat dengan kenaikan tingkat sangrai, dan makin kecil ukuran biji kopi yang disangrai maka nilai kelarutannya akan semakin besar. Nilai kelarutan terbesar 30,5% diperoleh pada bubuk kopi yang berasal dari biji kopi berukuran lebih kecil



Gambar 14. Kelarutan kopi bubuk dari beberapa perlakuan.

*Figure 14. Solubility of coffee powder from several treatments.*

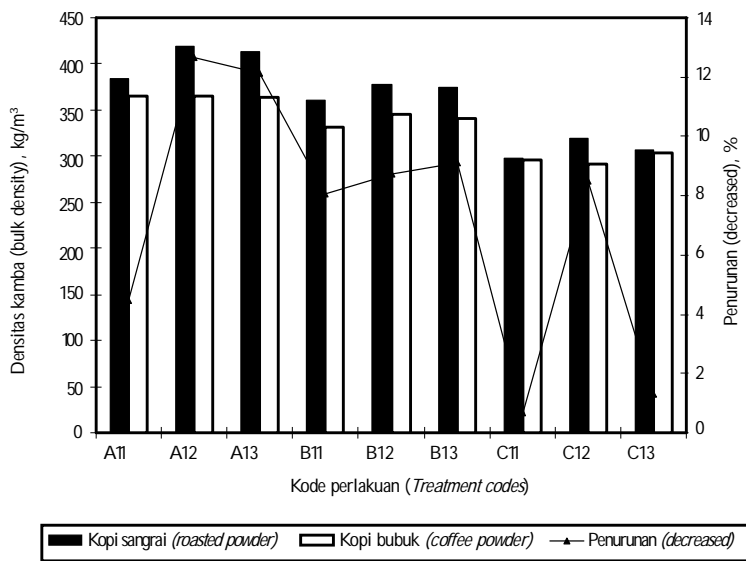
efek pencerahan (*polishing*) terhadap permukaan partikel bubuk kopi. Namun demikian, jika waktu tunggu partikel bubuk kopi selama proses pengecilan ukuran di dalam unit pembubuk semakin lama akan berdampak pada munculnya aroma *burn*, dan warna partikel bubuk kopi akan menjadi lebih gelap.

### Densitas Kamba

Syarief & Irawati (1988) melaporkan bahwa nilai densitas kamba diperlukan untuk merencanakan suatu gudang penyimpanan, volume alat pengolahan maupun sarana transportasi. Nilai densitas kamba sangat dipengaruhi oleh kadar air, ukuran partikel, dan kekasaran permukaan bahan.

Gambar 13 menampilkan bahwa semakin tinggi tingkat sangrai, maka nilai densitas bahan setelah mengalami pengecilan ukuran akan semakin rendah. Nilai densitas kamba bubuk kopi terendah 292 kg/m<sup>3</sup> diperoleh dari biji kopi dengan ukuran diameter lebih besar dari 4 mm dan lebih kecil dari 5 mm yang disangrai pada tingkat sangrai sedang. Nilai densitas kamba tertinggi 366 kg/m<sup>3</sup> diperoleh dari biji kopi dengan ukuran diameter lebih kecil dari 5 mm yang disangrai pada tingkat sangrai ringan.

Bubuk kopi yang berasal dari biji kopi dengan tingkat sangrai rendah memiliki nilai densitas kamba terbesar dibandingkan dengan bubuk kopi yang diperoleh dari hasil pengecilan ukuran biji kopi yang disangrai dengan tingkat sangrai gelap. Partikel dengan



Gambar 13. Densitas kamba kopi sangrai dan kopi bubuk dari beberapa perlakuan.

Figure 13. Bulk density of coffee roasted beans and coffee powder from several treatments.

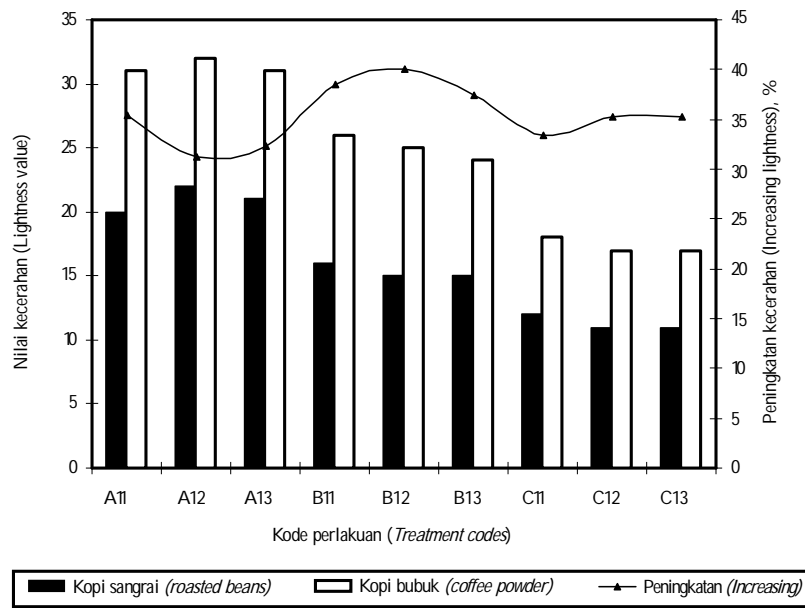
tertahan pada lubang ayakan 140 mesh dan lolos ayakan dengan ukuran lubang 230 mesh. Lebih lanjut Henderson & Perry (1976) melaporkan bahwa dengan semakin cepat putaran unit penggiling, maka akan diperoleh partikel dengan ukuran yang semakin kecil dan seragam.

### Nilai Kecerahan Bubuk Kopi

Pengaruh proses pembubukan biji kopi sangrai terhadap perubahan nilai kecerahan ditampilkan pada Gambar 12. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengecilan ukuran akan menghasilkan bubuk kopi dengan nilai kecerahan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kecerahan biji kopi sangrai. Persentase peningkatan nilai

kecerahan tertinggi 40% diperoleh pada perlakuan pembubukan biji kopi berukuran lebih besar atau sama dengan 4 mm dengan tingkat sangrai sedang. Persentase peningkatan nilai kecerahan terendah 31,25% diperoleh pada perlakuan pembubukan biji kopi berukuran lebih besar atau sama dengan 4 mm dengan tingkat sangrai ringan.

Pada proses penyangraian biji kopi, penerapan suhu tinggi berakibat pada perubahan warna permukaan biji yang sangat cepat. Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya perbedaan warna lapisan biji luar dengan lapisan biji bagian dalam. Semakin tinggi tingkat sangrai yang dikenakan pada biji kopi, maka persentase perbedaan warna yang muncul akan semakin besar. Selain itu, pada proses pengecilan ukuran akan muncul



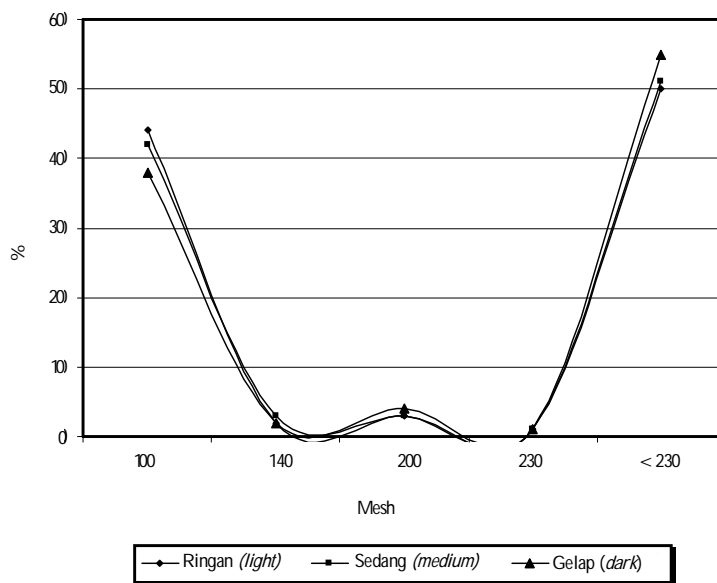
Gambar 12. Nilai kecerahan kopi sangrai dan kopi bubuk dari beberapa perlakuan.  
 Figure 12. Lightness value of roasted coffee beans and coffee powder from several treatments.

Metode saringan akan digunakan sebagai metode analisis distribusi ukuran partikel secara kasar karena prosedur analitik dan konsep dasarnya mudah (Hayashi *et al.*, 1969). Tingkat kehalusan bubuk kopi ditentukan oleh ukuran ayakan yang dipasang pada bagian dalam mesin pembubuk. Distribusi ukuran partikel bubuk kopi yang dihasilkan dari perlakuan proses pembubukan memiliki distribusi ukuran partikel sebagaimana di tampilkan pada Gambar 11.

Sivetz & Desrosier (1979) dan Davids (1996) melaporkan bahwa selama proses penyangraian terjadi tiga tahapan reaksi fisik dan kimiawi yang berjalan secara berurutan, yaitu penguapan air dari dalam biji, penguapan senyawa volatil, dan proses

pirolisis. Kesempurnaan reaksi sangrai dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu panas dan waktu sangrai (Sivetz & Desrosier, 1979). Air yang terdapat di dalam pori makro maupun mikro akan bergerak keluar lebih cepat karena pengembangan pori-pori lebih besar, dan ketersediaan energi untuk penguapan air lebih tinggi (Widyotomo *et al.*, 2006).

Sebaran distribusi ukuran partikel kopi bubuk menunjukkan pola yang sama dari perlakuan ukuran biji kopi dan tingkat sangrai. Pada tingkat sangrai ringan hingga gelap, 50–55% bubuk kopi tertahan pada lubang ayakan lebih kecil dari 230 mesh, 38–44% bubuk kopi tertahan pada lubang ayakan berukuran 100 mesh, dan sisanya



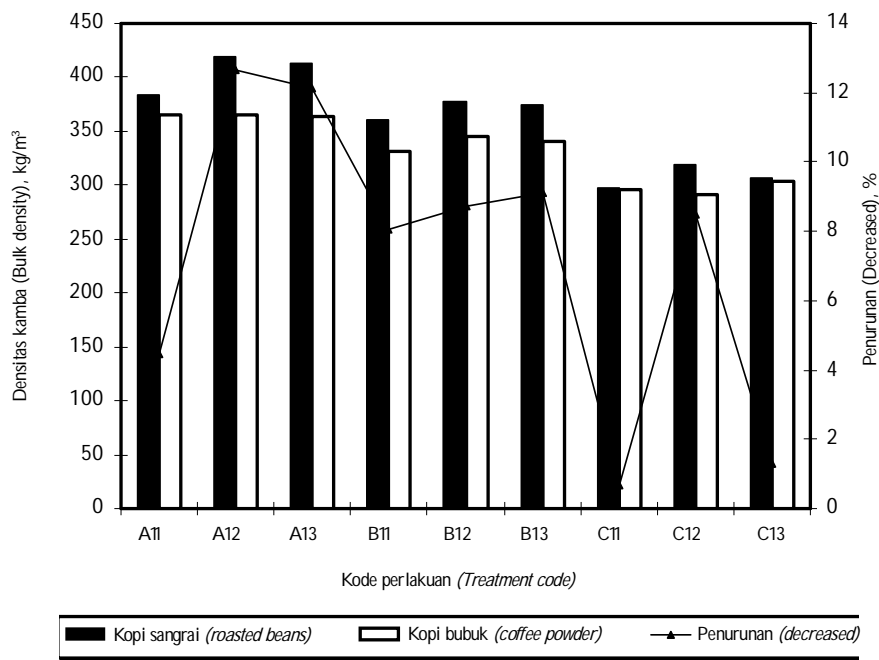
Gambar 11. Distribusi ukuran partikel bubuk kopi dari beberapa perlakuan.  
*Figure 11. Size particle distributions of coffee powder from several treatments.*

pembubuk biji kopi sangrai baik dengan beban maupun tanpa penganan beban. Semakin tinggi putaran poros penggerak, maka slip yang terjadi semakin rendah. Uji kinerja mesin berada pada kisaran putaran poros penggerak antara 2100–2400 rpm, dan besarnya slip yang terjadi antara 0,3–1,05%. Hasil analisis garis regresi linier pada kisaran putaran poros penggerak tersebut diperoleh persamaan  $Y = -0,0609X + 1,1053$ , dalam hal ini X putaran poros penggerak (rpm) dan Y slip yang timbul (%) dengan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) 0,9989. Persamaan garis regresi linier tersebut bermanfaat untuk memprediksi besarnya slip yang timbul jika mesin akan dioperasikan

pada kecepatan poros putar lebih rendah dari 2100 rpm ataupun lebih tinggi dari 2400 rpm.

### Distribusi Ukuran Partikel

Penilaian karakterisasi bubuk kopi yang paling dominan berdasarkan kondisi fisik selain warna, rupa dan bau adalah keseragaman ukuran. Henderson & Perry (1976) melaporkan bahwa prestasi dari mesin pengecil ukuran suatu bahan sangat ditentukan oleh distribusi ukuran produk yang dihasilkan. Syarief & Nugroho (1992) melaporkan bahwa batas ukuran distribusi partikel bahan pangan berupa tepung adalah ukuran partikel yang terbesar atau terkecil.



Gambar 11. Distribusi ukuran partikel bubuk kopi dari beberapa perlakuan.  
 Figure 11. Size particle distribution of coffee powder from several treatments.



Tabel 5. Persamaan regresi linier konsumsi bahan bakar dari beberapa perlakuan

Table 5. Linier regression equations of machine fuel consumption from several treatments

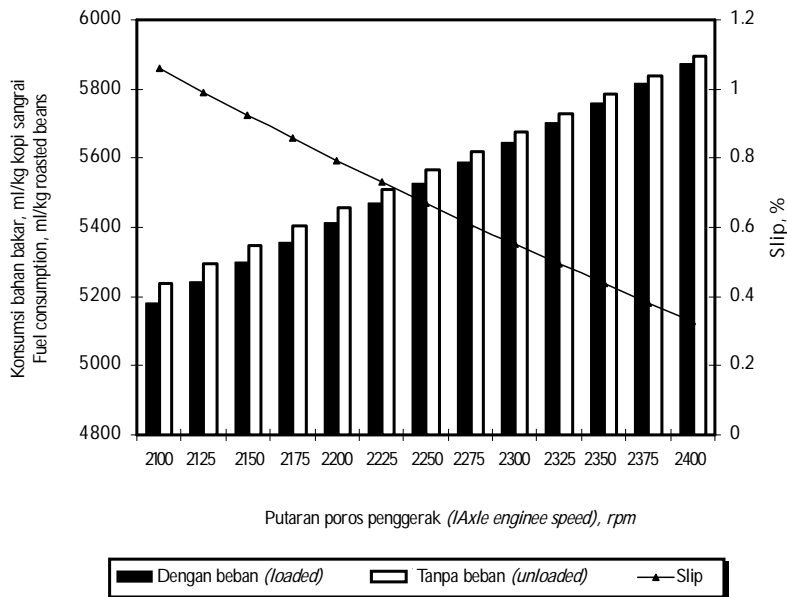
Ukuran biji, mm <i>Bean size, mm</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linier regression equations</i>	Koefisien korelasi, R <i>Coef. correlation, R</i>
< 4 mm x 4 mm	$Y = - 15X + 32.33$	0.9819
$\geq 4$ mm x 4 mm	$Y = - 0.5X + 25.67$	0.8660
$\delta \geq 5$ mm x 5 mm	$Y = - 0.5X + 19.33$	0.8660

Keterangan (*Notes*) : X adalah ukuran biji kopi, mm dan Y adalah konsumsi bahan bakar, mL/kg biji kopi sangrai (*X is beans size, mm and Y is machine fuel consumption, mL/kg roasted beans*).

tenaga penggerak tidak dapat diteruskan ke poros unit pemroses karena adanya *slip* putaran. *Slip* dapat terjadi karena tidak kuatnya sabuk karet mengikat di *pulley* atau permukaan sabuk karet yang telah halus karena efek panas yang timbul dalam sistem transmisi selama proses berlangsung. Pemberian beban saat pengoperasian mesin

ternyata akan berdampak pada menurunnya jumlah putaran poros penggerak yang disebabkan gesekan (friksi) antara bahan dengan piringan di dalam unit pembubuk, dan gesekan antar bahan selama proses pengecilan ukuran berlangsung.

Gambar 10 menampilkan besarnya *slip* yang terjadi selama operasional mesin



Gambar 10. Efisiensi penerusan daya dari beberapa perlakuan.

Figure 10. Efficiency of force transmission from several treatments.

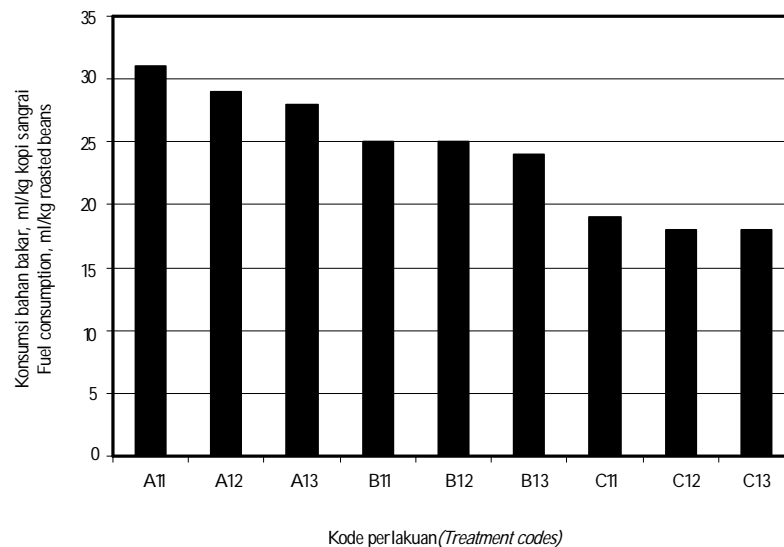
mm pada tingkat sangrai gelap (Gambar 9). Widyotomo *et al.* (2005) melaporkan bahwa konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat dengan semakin tingginya jumlah putaran poros tenaga penggerak per satuan waktu.

Tabel 5 menampilkan persamaan regresi linier hubungan antara tingkat sangrai dan ukuran biji kopi terhadap konsumsi bahan bakar. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi jumlah bahan bakar yang diperlukan oleh mesin pembubuk jika akan dipergunakan untuk berbagai ukuran biji dengan kondisi sangrai yang berbeda-beda.

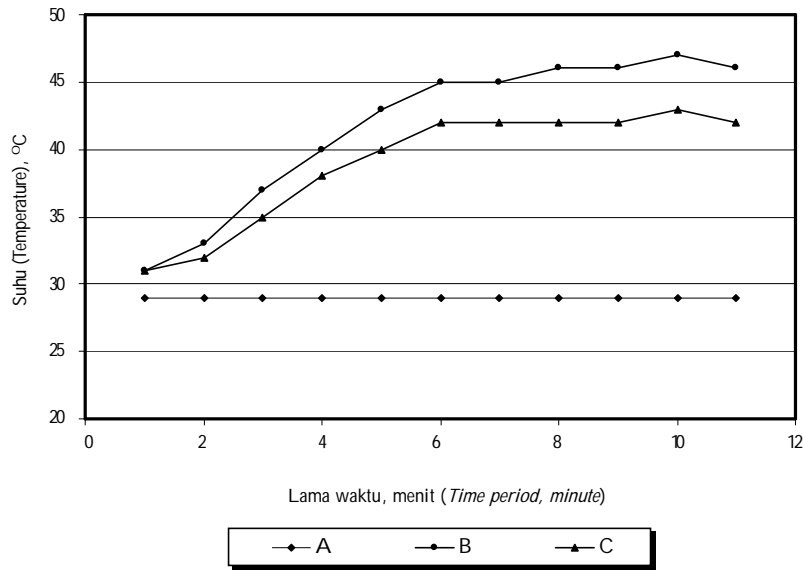
### Efisiensi Penerusan Daya

Efisiensi penerusan daya merupakan salah satu parameter unjuk kerja yang

berpengaruh terhadap kinerja mesin. Daya yang dihasilkan sumber tenaga penggerak diteruskan ke unit pemroses melalui suatu sistem penerusan daya tertentu. Pemilihan sistem transmisi yang tepat dapat menekan kehilangan daya selama mesin beroperasi. Sistem penerusan daya yang digunakan pada mesin pembubuk biji kopi sangrai adalah *pulley* dan sabuk karet profil V. Keuntungan penggunaan sistem transmisi tersebut antara lain mudah dan murah dalam hal perawatan maupun penggantian komponen transmisi, dan yang lebih penting adalah jika terjadi kemacetan proses yang tiba-tiba, maka tidak akan langsung berdampak negatif baik pada sumber tenaga penggerak maupun unit pemrosesnya. Namun demikian, kelemahan penggunaan sistem transmisi model *pulley* dan sabuk karet profil V adalah seluruh daya



Gambar 9. Konsumsi bahan bakar dari beberapa perlakuan.  
 Figure 9. Machine fuel consumption from several treatments.



Gambar 8. Profil suhu biji kopi sangrai (A), bubuk kopi di dalam unit pembubuk (B) dan bubuk kopi di corong keluaran (C) selama proses pembubukan.

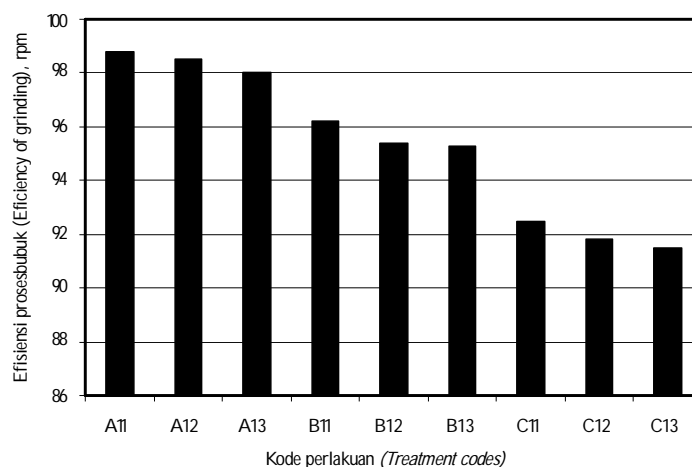
Figure 8. Temperature profile of; (A) beans, (B) coffee powder and (C) coffee powder on outlet.

terbaik untuk mencegah terjadinya efek negatif tersebut adalah mengoperasikan mesin pembubuk secara terputus, yaitu jika suhu unit pembubuk telah meningkat panas, maka operasional mesin dihentikan, dibuka tutupnya untuk mendinginkan bagian dalam komponen penggilingnya, dan kemudian mesin dapat dioperasikan kembali.

### Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar berkaitan dengan sejumlah daya yang telah dikeluarkan oleh alat dan mesin untuk melakukan suatu kerja dalam kurun waktu tertentu. Semakin besar daya yang dikeluarkan, maka sumber energi yang dibutuhkan akan semakin besar.

Henderson & Perry (1976) melaporkan bahwa ukuran partikel berdampak pada jumlah energi yang diperlukan dalam proses pengecilan ukuran. Energi yang diperlukan untuk mengecilkan suatu bahan sebanding dengan dimensi partikel hasil pengecilan ukuran dan dimensi yang sama dari partikel semula pangkat jumlah tahapan pengecilan. Hasil pengamatan proses pembubukan menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar tertinggi sebesar 31 mL diperlukan untuk memperkecil satu kilogram biji kopi pascasangrai berukuran lebih kecil dari 4 mm pada tingkat sangrai ringan. Konsumsi bahan bakar terendah sebesar 18 mL diperoleh pada proses pembubukan satu kilogram biji kopi berukuran lebih besar atau sama dengan 5



Gambar 7. Efisiensi proses pembubukan dari beberapa perlakuan.

Figure 7. Efficiency of grinding process of several treatments.

Tabel 4. Persamaan regresi linier efisiensi proses pembubukan dari beberapa perlakuan

Table 4. Linier regression equations of efficiency of grinding process from several treatments.

Ukuran biji, mm Bean size, mm	Persamaan garis linier regresi Linier regression equations	Koefisien korelasi, R Coef corelation, R
< 4 mm x 4 mm	$Y = -0.4X + 99.23$	0.9897
$\geq 4$ mm x 4 mm	$Y = -0.45X + 96.53$	0.9122
$\geq 5$ mm x 5 mm	$Y = -0.5X + 92.93$	0.9744

Keterangan (Notes): X adalah ukuran biji kopi, mm dan Y adalah efisiensi proses pembubukan, % (X is beans size, mm and Y is efficiency of grinding process, %).

yang berlebihan selama proses pengecilan ukuran akan mengakibatkan bubuk kopi yang dihasilkan berbau asap, dan proses pembubukan tidak berlangsung optimal karena pengembangan partikel bubuk kopi akan mudah menutup lubang-lubang plat penyaring. Walaupun demikian, suhu yang timbul selama proses pembubukan yaitu antara 45-47°C ternyata tidak memberikan dampak negatif terhadap produk yang dihasilkan. Hal tersebut terlihat dari pening-

katan kapasitas kerja mesin yang tidak mengalami penurunan walaupun dengan perlakuan penurunan ukuran bahan uji dan kecepatan putar tenaga penggerak.

Sri Mulato *et al.* (2006) melaporkan bahwa proses gesekan yang sangat intensif yang terjadi di dalam unit pembubuk akan menyebabkan timbulnya panas dan akan berpengaruh terhadap mutu kopi bubuk yang dihasilkan (kehilangan aroma). Metode

Tabel 3. Persamaan regresi linier putaran poros pembubuk dari beberapa perlakuan

Table 3. Linier regression equations of axle rotation of grinding machine from several treatments

Ukuran biji, mm <i>Bean size, mm</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linier regression equations</i>	Koefisien korelasi, R <i>Coef. correlation, R</i>
< 4 mm x 4 mm	$Y = 100X + 5220$	0.9449
1 4 mm x 4 mm	$Y = 120X + 5203.3$	0.9988
d 1 5 mm x 5 mm	$Y = 55X + 5443.3$	0.9986

Keterangan (*Notes*): X adalah ukuran biji kopi, mm dan Y adalah putaran poros pembubuk, rpm (*X is beans size, mm and Y is axle rotation of grinding machine, rpm*)

Biji kopi dengan tingkat sangrai gelap akan memiliki bobot yang relatif lebih ringan jika dibandingkan dengan biji kopi yang disangrai dengan tingkat sedang ataupun ringan. Semakin tinggi tingkat sangrai yang dikenakan, maka perubahan sifat-sifat fisik maupun kimia dari biji kopi akan semakin signifikan. Kehilangan massa bubuk kopi selama proses pembubukan lebih disebabkan oleh massa bahan yang terlalu ringan sehingga partikel-partikel mudah terlepas dan terbawa udara. Kadar air yang rendah, dan unsur karbon yang semakin tinggi akan memperbesar jumlah partikel atau massa bubuk kopi yang hilang. Selain itu, biji dengan ukuran lebih besar akan memiliki porositas bahan yang lebih besar. Proses pembubukan akan berlangsung lebih cepat, dan porositas yang tinggi akan mengakibatkan aliran udara di dalam kumpulan biji lebih banyak sehingga mempermudah perpindahan partikel lepas dari kumpulan bahan.

Tabel 4 menampilkan persamaan regresi linier hubungan antara tingkat sangrai dan ukuran biji kopi terhadap efisiensi proses pembubukan. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi persentase produk yang dihasilkan dari mesin pembubuk

jika akan dipergunakan untuk berbagai ukuran biji dengan kondisi sangrai yang berbeda-beda.

### Suhu

Profil peningkatan suhu dari tiga posisi pengukuran, yaitu suhu biji kopi pascasangrai, bubuk kopi di dalam unit pembubuk, dan bubuk kopi di corong keluaran selama proses pembubukan ditampilkan pada Gambar 8. Pada menit pertama setelah proses pembubukan berlangsung, bubuk kopi memiliki suhu yang sama, yaitu 31°C atau lebih tinggi 2°C jika dibandingkan suhu biji kopi pascasangrai. Suhu bubuk kopi meningkat cukup signifikan setelah proses pengecilan ukuran berlangsung selama 2 menit. Suhu bubuk kopi mulai stabil pada kisaran 45–47°C pada menit ke 6 sampai proses pengecilan ukuran berakhir. Selisih suhu bubuk kopi di dalam unit pembubuk dengan posisi di corong keluaran berkisar antara 2–3°C.

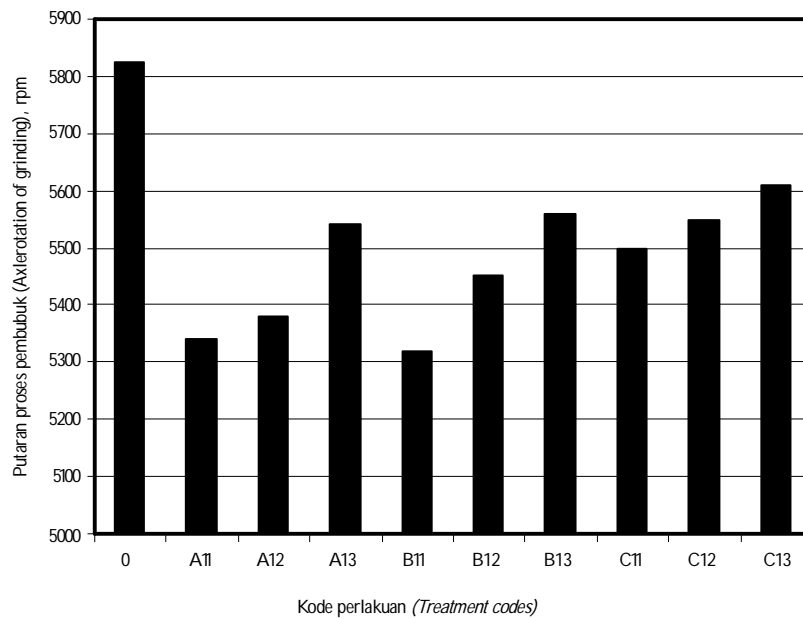
Peningkatan suhu bubuk kopi selama proses pengecilan ukuran terjadi oleh karena adanya gesekan antara biji kopi sangrai dengan unit pembubuk maupun gesekan antara bahan yang diproses. Timbulnya panas

Kondisi operasional yang tepat adalah menggunakan mesin sesuai kemampuannya. Kegagalan atau terhambatnya proses pengecilan ukuran disebabkan oleh pemberian beban yang berlebihan jika dibandingkan dengan kemampuan mesin.

Tabel 3 menampilkan persamaan regresi linier hubungan antara tingkat sangrai dan ukuran biji kopi terhadap putaran poros mesin pembubuk. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi putaran poros mesin pembubuk jika akan dipergunakan untuk berbagai ukuran biji dengan kondisi sangrai yang berbeda-beda.

### Efisiensi Proses Pembubukan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat sangrai dan semakin besar ukuran biji kopi, maka efisiensi proses pembubukan akan semakin rendah. Efisiensi proses pembubukan tertinggi diperoleh pada perlakuan tingkat sangrai ringan terhadap biji kopi berukuran lebih kecil dari 4 mm, yaitu 98,5%. Efisiensi proses pembubukan terendah diperoleh pada proses pengecilan ukuran biji kopi berukuran lebih besar atau sama dengan 5 mm dengan tingkat sangrai gelap, yaitu 91,5% (Gambar 7).



Gambar 6. Putaran poros mesin pembubuk dari beberapa perlakuan.

Figure 6. Axle rotation of grinding machine of several treatments.

kapasitas penggilingan biji kopi berukuran lebih kecil per satuan waktu akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggilingan biji kopi berukuran besar. Gambar 5 menunjukkan bahwa pada tingkat sangrai tinggi, kapasitas terbesar diperoleh pada proses penggilingan biji kopi berukuran lebih kecil dari 4 mm.

Tabel 2 menampilkan persamaan regresi linier hubungan antara tingkat sangrai dan ukuran biji kopi terhadap kapasitas kerja mesin pembubuk. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kapasitas kerja mesin jika akan dipergunakan untuk berbagai ukuran biji dengan kondisi sangrai yang berbeda-beda.

### Putaran Poros Mesin Pembubuk

Putaran poros mesin pembubuk akan berpengaruh pada kemampuan mesin dalam memperkecil ukuran biji. Mekanisme pengurangan putaran dengan sistem transmisi *pulley* dan sabuk karet menghasilkan putaran poros mesin pembubuk tanpa pengenaan beban sebesar 5820 rpm.

Proses pengecilan ukuran biji kopi dengan diameter lebih besar atau sama dengan 5 mm pada tingkat sangrai gelap memberikan jumlah putaran tertinggi, yaitu 5610 rpm. Putaran poros mesin pembubuk terendah diperoleh pada proses pengecilan ukuran biji kopi sangrai dengan ukuran diameter lebih kecil dari 4 mm pada tingkat sangrai ringan, yaitu 5310 rpm (Gambar 6).

Biji kopi berukuran lebih besar dengan tingkat sangrai lebih tinggi akan lebih mudah dihancurkan jika dibandingkan dengan biji kopi berukuran lebih kecil dengan tingkat sangrai lebih ringan. Pada saat mesin beroperasi dengan beban lebih ringan, maka diindikasikan oleh putaran poros yang lebih tinggi dengan jam kerja mesin yang lebih lama. Beban berat akan mengakibatkan mesin berputar lebih lambat. Daya penggerak ditentukan oleh besarnya nilai putaran mesin dan torsi yang dihasilkan (Widyotomo *et al.*, 2005). Pada daya dan jam operasional mesin yang sama, maka tenaga penggerak akan lebih memiliki daya tahan yang relatif lebih singkat jika dibandingkan untuk proses pembubukan dengan beban lebih ringan.

Tabel 2. Persamaan regresi linier kapasitas kerja dari beberapa perlakuan  
 Table 2. *Linier regression equations of machine capacity from several treatments*

Ukuran biji, mm <i>Beans size, mm</i>	Persamaan garis linier regresi <i>Linier regression equations</i>	Koefisien korelasi, R <i>Coef. corelation, R</i>
< 4 mm x 4 mm	$Y = - 3X + 40.3$	0.9819
$\geq 4$ mm x 4 mm	$Y = - 5X + 56.00$	0.9449
$\delta \geq 5$ mm x 5 mm	$Y = - 3.5X + 57.67$	0.9966

Keterangan (*Notes*): X adalah ukuran biji kopi, mm dan Y adalah kapasitas kerja mesin, kg/jam (*X is coffee beans size, mm and Y is machine capacity, kg/h*).

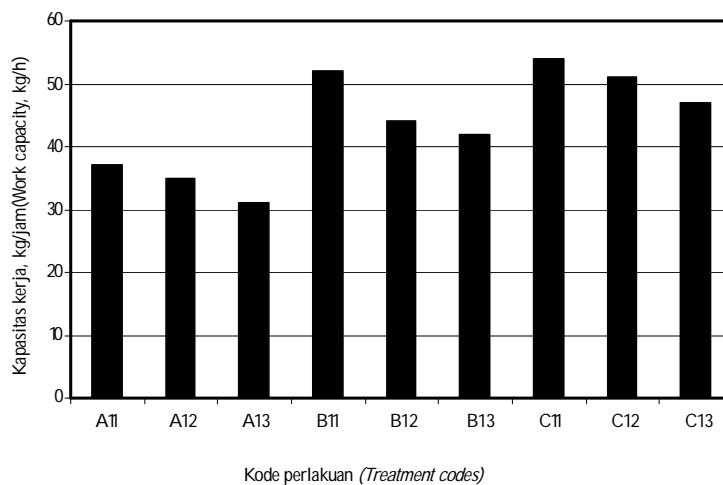
### Kapasitas Kerja Mesin

Kapasitas kerja mesin pembubuk tipe *disk mill* tertinggi diperoleh pada proses pembubukan biji kopi berukuran diameter lebih kecil dari 4 mm dengan tingkat sangrai gelap, yaitu 54 kg/jam. Kapasitas terendah diperoleh pada biji kopi berukuran diameter lebih besar dari atau sama dengan 5 mm dengan tingkat sangrai ringan, yaitu sebesar 31 kg/jam.

Kopi sangrai level gelap memiliki kadar air yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kopi sangrai level sedang, dan ringan. Bahan pangan dengan kadar air rendah akan memiliki sifat yang lebih rapuh (*fragile*). Pengeunaan suhu tinggi dan waktu sangrai yang lebih lama mengakibatkan perubahan fisik biji kopi seperti pengembangan volume (*swelling*) dan pembentukan pori-pori di dalam jaringan sel

lebih maksimum. Pengembangan volume biji berukuran lebih kecil yang disangrai pada waktu dan suhu yang sama akan relatif lebih tinggi. Fenomena tersebut lebih diperjelas dari tampilan grafik Gambar 5. Biji dengan tingkat sangrai lebih tinggi akan lebih mudah dihancurkan daripada biji yang dikenakan tingkat sangrai lebih ringan. Kapasitas kerja mesin penggiling tertinggi diperoleh pada biji kopi dengan tingkat sangrai tinggi atau gelap (*dark roast*).

Bahan pertanian yang seragam dengan ukuran lebih kecil akan memiliki nilai porositas yang semakin rendah sehingga dalam volume yang sama akan memberikan nilai massa yang lebih tinggi. Fenomena tersebut membuktikan bahwa pada tingkat sangrai yang sama, massa biji berukuran lebih kecil akan relatif lebih banyak yang dapat tergiling dibandingkan dengan massa biji berukuran lebih besar. Dengan demikian



Gambar 5. Kapasitas kerja mesin pembubuk dari beberapa perlakuan.

Figure 5. Work capacity of grinding machine from several treatments.

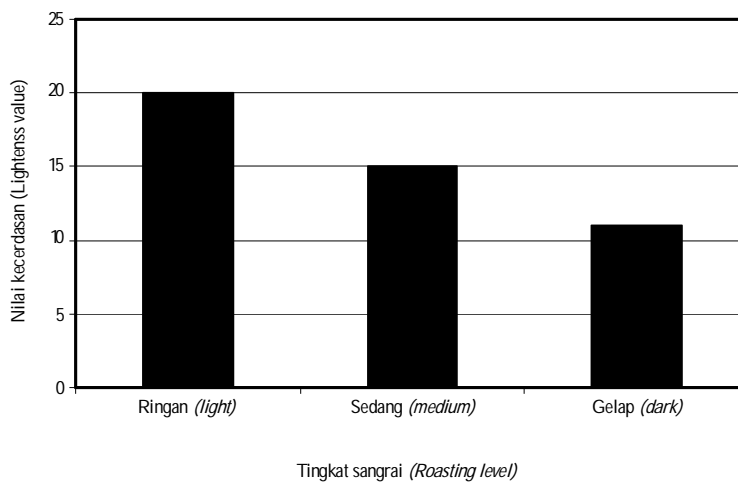


sebesar 419 kg/m<sup>3</sup>, 378 kg/m<sup>3</sup>, dan 343 kg/m<sup>3</sup>. Yusianto (2003) melaporkan bahwa nilai densitas biji kopi Robusta asal KP. Kaliwining Jember sebesar 640 kg/m<sup>3</sup>. Penyangraian yang baik dan optimum akan menghasilkan densitas kamba biji sekitar 350 kg/m<sup>3</sup>. Tingkat sangrai ringan-sedang akan menghasilkan biji kopi sangrai dengan nilai densitas kamba di atas 350 kg/m<sup>3</sup>.

### Nilai Kecerahan Bahan Uji

Nilai kecerahan merupakan ukuran jumlah sinar yang dipantul ulang oleh suatu benda saat diberi penyinaran dengan panjang gelombang tertentu. Biji kopi setelah mengalami proses penyangraian ringan akan memiliki nilai kecerahan antara 34–35 (Sri-Mulato, 2002).

Nilai kecerahan bahan akan makin menurun dengan semakin tinggi tingkat sangrai yang dikenakan terhadap bahan tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kecerahan biji kopi pada tingkat sangrai ringan, sedang, dan gelap masing-masing sebesar 20, 15, dan 11. Yusianto (2003) melaporkan bahwa biji kopi dengan tingkat sangrai ringan akan menampilkan warna *cinnamon-shocolate* muda/cokelat susu, penyangraian sedang menghasilkan warna cokelat penuh, dan penyangraian gelap akan menghasilkan biji sangrai dengan permukaan sangat mengkilap dan berminyak dengan warna hampir hitam, sering disebut *fully city roast*. Lebih lanjut Sri-Mulato (2002) melaporkan bahwa biji kopi beras sebelum disangrai memiliki warna permukaan kehijauan yang bersifat memantulkan sinar lebih banyak dibandingkan warna cokelat.



Gambar 4. Nilai kecerahan bahan uji pada beberapa tingkat sangrai.

Figure 4. Lightness value of raw materials from several roasting level.

yang terbentuk semakin baik (Pasaribu, 1975).

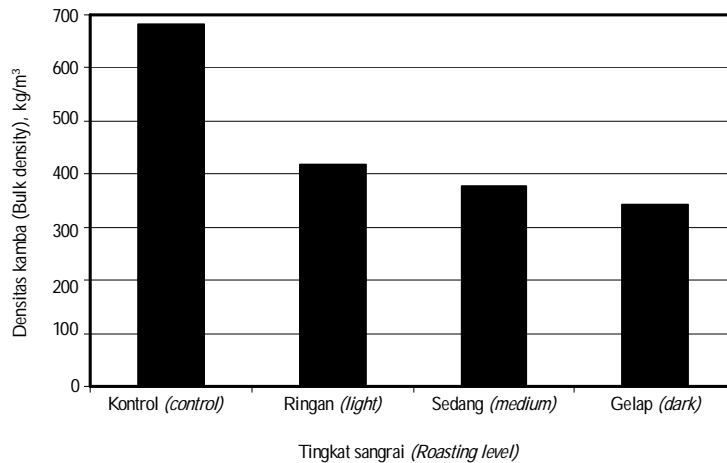
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Densitas Kamba Bahan Uji

Densitas kamba biji kopi Robusta sebelum dan pascasangrai dengan level sangrai ringan, sedang, dan gelap ditampilkan pada Gambar 3. Syarief & Irawati (1988) melaporkan bahwa besar kecilnya densitas kamba suatu bahan pertanian dipengaruhi oleh kadar air, ukuran partikel dan kekasaran permukaannya. Biji kopi yang siap diperdagangkan menurut standar nasional yang berlaku harus memiliki kadar air tidak lebih dari 12% (DSN, 1999), sedangkan biji kopi pascasangrai dengan level sangrai ringan sampai dengan gelap memiliki

kadar air antara 2-3% (Sri-Mulato, 2002). Pada ukuran biji yang sama, dengan semakin tinggi tingkat sangrai, maka biji akan lebih ringan. Efek panas yang diserap biji kopi pada saat proses penyangraian mengakibatkan pori-pori bahan mengembang sehingga ukuran biji menjadi relatif lebih besar dibandingkan ukuran semula. Sejumlah masa air bergerak keluar dari pori-pori biji, dan selanjutnya lepas ke udara sebagai uap air. Massa biji secara keseluruhan akan turun, sedangkan volume biji meningkat. Fenomena tersebut yang mengakibatkan biji dengan tingkat sangrai lebih tinggi akan memiliki nilai densitas kamba yang semakin rendah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai densitas biji kopi (*green coffee*) yang digunakan sebagai bahan uji sebesar 684 kg/m<sup>3</sup>, sedang setelah disangrai dengan level ringan, sedang, dan tinggi masing-masing



Gambar 3. Densitas kamba bahan uji pada beberapa tingkat sangrai.  
 Figure 3. Bulk density of raw materials from several roasting level.

Sebagai pembanding (kontrol) digunakan densitas kamba biji kopi beras yang akan digunakan sebagai bahan uji.

### 8. Distribusi ukuran partikel

Perubahan distribusi ukuran partikel biji kopi Robusta pasca sangrai hasil proses penggilingan diukur dengan menggunakan seperangkat saringan Tyler dengan ukuran lubang saringan 100 mesh, 140 mesh, 200 mesh, 230 mesh, dan lebih kecil dari 230 mesh. Dalam melakukan analisis, seperangkat saringan standar disusun secara deret dalam suatu tumpukan. Saringan dengan anyaman paling rapat ditempatkan paling bawah, sedangkan anyaman paling besar ditempatkan paling atas. Contoh bubuk kopi Robusta pascasangrai hasil proses penggilingan sebanyak 200 g dimasukkan ke dalam saringan paling atas dan saringan diguncangkan secara mekanis selama 15 menit. Partikel yang tertahan pada setiap saringan dikumpulkan dan ditimbang, dan bubuk kopi pascasangrai pada setiap saringan yang tertinggal tersebut dikonversikan menjadi fraksi massa atau persen massa dari contoh bahan secara keseluruhan (Henderson & Perry, 1976; McCabe *et al.*, 1999). Setiap perlakuan dilakukan ulangan penyaringan contoh bubuk kopi pasca sangrai sebanyak 3 kali. Ulangan penyaringan dilakukan untuk mengetahui konsistensi sebaran fraksi massa yang tertinggal di setiap saringan, dan data yang digunakan merupakan rerata dari jumlah ulangan tersebut.

### 9. Kelarutan

Bubuk kopi sebanyak 100 g dilarutkan dalam 150 ml air mendidih, dan dibiarkan selama 2-3 menit. Larutan tersebut kemudian diaduk dan disaring dengan menggunakan kertas saring yang telah diketahui beratnya. Ampas yang tersisa dalam gelas beker dilarutkan kembali dalam air mendidih, diaduk, dan disaring. Pekerjaan pelarutan dan penyaringan dilakukan sebanyak 3 kali. Ampas yang terdapat pada kertas saring dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 4-5 jam.

$$\text{Berat sample terlarut} = \text{berat kering sample} - \text{berat kering ampas} \quad \dots\dots 4$$

$$\text{Kelarutan, \%} = \frac{\text{bobot sample terlarut, g}}{\text{bobot kering sampel, g}} \quad \dots\dots 5$$

### 10. Analisis regresi

Analisis hubungan antara beberapa parameter penelitian bertujuan untuk memperkirakan atau menaksir nilai suatu variabel sesudah mengetahui nilai-nilai variabel yang lain. Metode penaksiran yang digunakan adalah kuadrat terkecil atau *least squares* karena relatif sederhana dan telah banyak digunakan pada bidang ilmu alam dan eksakta. Koefisien korelasi ( $r$ ) merupakan ukuran nilai baik tidaknya suatu garis regresi yang terbentuk atas hubungan antara dua parameter penelitian. Koefisien korelasi ( $r$ ) merupakan akar pangkat dua dari koefisien determinasi. Semakin dekat nilai  $r$  pada nilai -1 atau 1, data contoh yang diterangkan dengan persamaan garis regresi

Tabel 1. Matrik penandaan perlakuan penggilingan biji kopi pasca sangrai

Table 1. *Sign matrix for several milling process treatments*

Diameter	Tingkat sangrai ( <i>Roasted level</i> )		
	Ringan ( <i>light</i> )	Sedang ( <i>medium</i> )	Gelap ( <i>dark</i> )
$\delta < 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$	A <sub>11</sub>	B <sub>11</sub>	C <sub>11</sub>
$\delta \geq 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$	A <sub>12</sub>	B <sub>12</sub>	C <sub>12</sub>
$\delta \geq 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$	A <sub>13</sub>	B <sub>13</sub>	C <sub>13</sub>

Keterangan (*Notes*): d = diameter biji kopi (*roasted coffee beans diameter*), mm.

$$K_m, \text{ kg/jam} = \frac{\text{biji kopi pascasangrai, kg}}{\text{waktu, jam}} \dots\dots 1$$

## 2. Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar diukur secara volumetrik dengan menghitung volume bahan bakar (bensin) yang digunakan mesin untuk memperkecil ukuran per satu kilogram biji kopi pascasangrai (ml/kg).

## 3. Slip

Slip dihitung berdasarkan perbedaan putaran pada sistem transmisi, yaitu perbedaan yang terjadi antara putaran poros tenaga penggerak dan putaran poros unit pengecil ukuran.

## 4. Efisiensi proses pembubukan

Efisiensi proses pembubukan ( $R_{nd}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R_{nd}, \% = \frac{\text{berat produk bubuk kopi, kg}}{\text{berat biji kopi sangrai, kg}} \times 100\% \dots 2$$

## 5. Suhu

Perubahan suhu di dalam unit pengecil ukuran diukur dan dicatat dengan menggunakan komputer dan data *acquisition FLUKE* setiap interval 1 menit. Titik-titik pengukuran suhu adalah suhu biji kopi, suhu di dalam ruang pembubuk, dan suhu bubuk kopi keluar dari corong keluran.

## 6. Warna

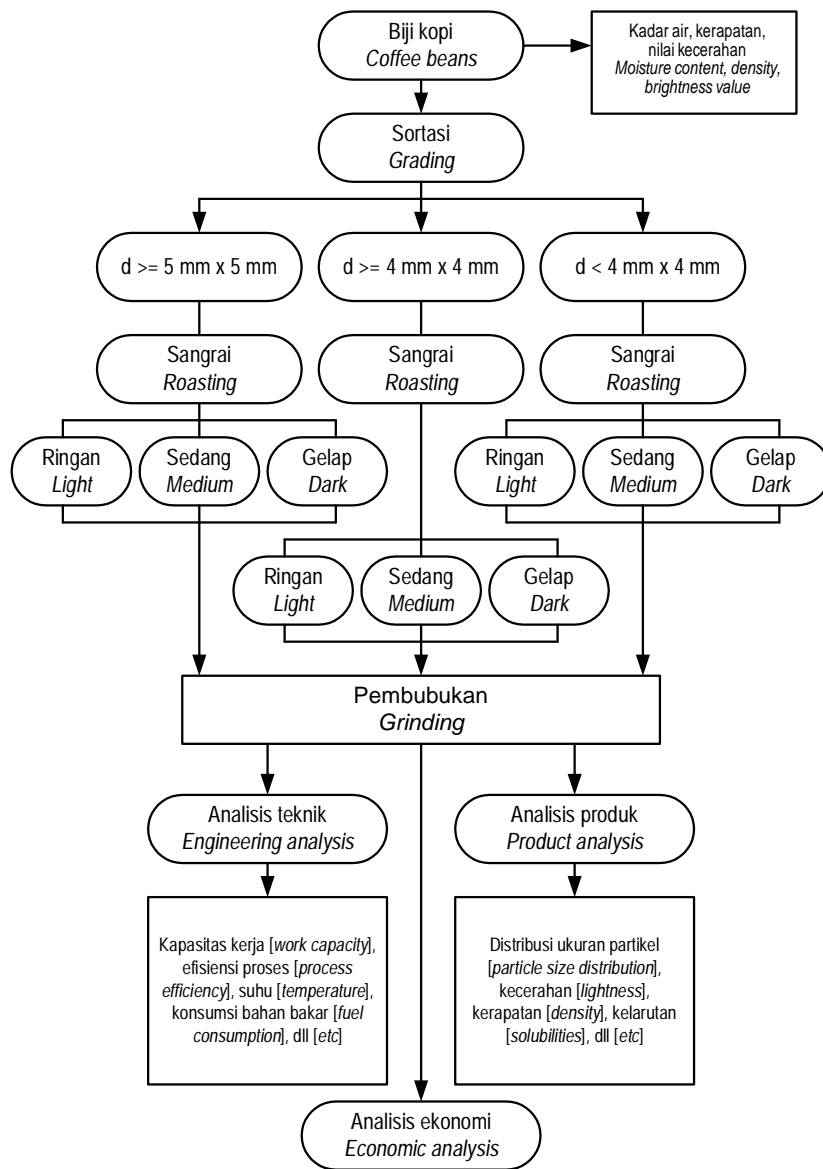
Pengaruh proses pengecilan ukuran terhadap perubahan warna produk (bubuk kopi) diukur dengan menggunakan *Chromameter* Minolta CR-300.

## 7. Densitas kamba

Densitas kamba ( $D_k$ ) biji kopi pascasangrai dan bubuk kopi dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_k, \text{ kg/m}^3 = \frac{\text{bobot kopi sangrai atau bubuk, kg}}{\text{volume, m}^3} \dots\dots 3$$

Kinerja pembubuk mekanis tipe piringan (*disk mill*) untuk proses pengecilan ukuran biji kopi Robusta pascasangrai



Gambar 2. Diagram alir penelitian.  
Figure 2. Research flowchart.

16 gigi tetap tersusun melingkar pada lapisan luar. Ukuran lubang ayakan yang diletakkan melingkar sepanjang unit pengecil ukuran sebesar 100 *mesh*.

Tenaga penggerak yang digunakan adalah sebuah motor bakar berdaya 5,5 HP. Sistem penerusan daya yang digunakan adalah *pulley* dan sabuk karet V. Untuk menekan persentase *slip* putaran selama proses penerusan daya dari tenaga penggerak ke unit pengecil ukuran, maka digunakan tuas penegang sabuk karet V sistem geser.

Rangka pembubuk mekanis tipe *disk mill* dibuat dari besi baja profil persegi (panjang; lebar) 60 mm; 40 mm. Rangka memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi masing-masing 800 mm; 800 mm, dan 800 mm. Corong keluaran produk terletak di bagian bawah unit pengecil ukuran, dan memiliki dimensi panjang-lebar masing-masing 250 mm, dan 30 mm. Wadah untuk menampung bubuk kopi hasil penggilingan diletakkan tepat di bagian bawah corong keluaran produk. Wadah penampung produk dimasukkan di dalam ruang berbentuk kubus, dengan dinding dibuat dari bahan tripleks 10 mm, dan memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi masing-masing 800 mm, 500 mm dan 800 mm. Sketsa pembubuk kopi mekanis tipe *disk mill* ditampilkan pada Gambar 1.

## Pelaksanaan Penelitian

### Perlakuan

Pada penelitian ini dilakukan dua macam variasi perlakuan, yaitu perlakuan tingkat

sangrai, dan perlakuan ukuran biji kopi yang akan disangrai. Perlakuan tingkat sangrai yang digunakan terdiri dari tiga tingkatan, yaitu ringan (*light*), sedang (*medium*), dan gelap (*dark*). Perlakuan ukuran biji kopi yang disangrai terdiri dari tiga tingkatan, yaitu biji kopi lolos lubang ayakan berukuran 4 mm x 4 mm, biji kopi tertahan di lubang ayakan 4 mm x 4 mm dan biji kopi tertahan di lubang ayakan 5 mm x 5 mm. Ulangan untuk masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali.

### Pengukuran

Parameter yang diukur meliputi waktu operasional, berat bahan yang diumpankan, berat bahan yang dihasilkan dari setiap perlakuan, konsumsi bahan bakar, putaran poros pembubuk dan poros tenaga penggerak, dan warna bubuk kopi. Henderson & Perry (1970) melaporkan selain ditentukan oleh kapasitas kerjanya, prestasi dari mesin pengecil ukuran suatu bahan ditentukan juga oleh kebutuhan daya per unit bahan dan distribusi ukuran hasil produksinya.

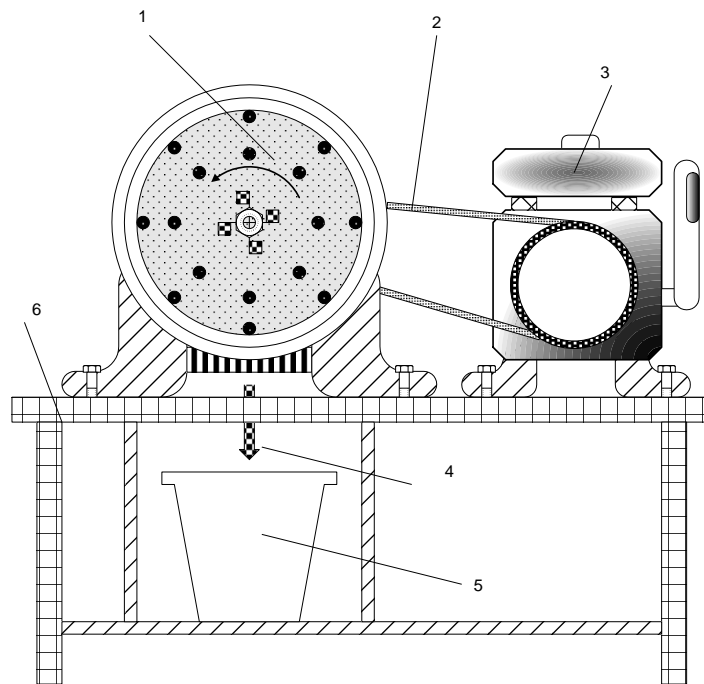
### Tolok Ukur

Tolok ukur kinerja dan mutu hasil pembubukan biji kopi pascasangrai sebagai berikut :

#### 1. Kapasitas kerja mesin

Kapasitas kerja pembubuk mekanis tipe *disk mill* (Km) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Kinerja pembubuk mekanis tipe piringan (*disk mill*) untuk proses pengecilan ukuran biji kopi Robusta pascasangrai



Keterangan (*Notes*) :

- |  |   |
|--|---|
| 1. Unit penggiling ( <i>milling unit</i> )       | 4. Kopi bubuk ( <i>coffee powder</i> )      |
| 2. Sabuk karet V ( <i>V belt rubber</i> )        | 5. Wadah ( <i>coffee powder collector</i> ) |
| 3. Tenaga penggerak ( <i>combustion engine</i> ) | 6. Rangka ( <i>beam</i> )                   |

Gambar 1. Sketsa pembubuk kopi mekanis tipe *disk mill*.

*Figure 1. Design of disk mill type for coffee roasted grinding process.*

dalam dan sirip luar pada komponen piringan berputar (*disk rotor*) masing-masing sebanyak empat buah dan penempatan wadah penampung bubuk kopi yang diletakkan di bagian bawah unit pembubuk.

Mesin pembubuk mekanis tipe *disk mill* memiliki empat bagian penting, yaitu unit pengecil ukuran, tenaga penggerak, rangka, dan corong keluaran produk. Unit pengecil ukuran memiliki sebuah piringan (*disk*) yang berfungsi sebagai rotor dengan diameter

270 mm, dan unit stator yang sekaligus berfungsi sebagai tutup. Pada piringan (*disk*) tersebut terdapat empat buah sirip bagian dalam, empat buah sirip bagian luar, dan delapan buah gigi tetap; empat buah di antara sirip bagian luar, dan empat buah menempel pada sirip bagian dalam. Pada unit stator terdapat 24 gigi tetap dibuat dari besi cor yang tersusun menyerupai lingkaran dua lapis dengan susunan delapan gigi tetap tersusun melingkar pada lapisan dalam dan

dengan mesin pembubuk tipe artisi berkapasitas 60 kg/jam produk yang dihasilkan 79% memiliki ukuran partikel antara 0,074–0,09 mm. Gaya pukul (*impact*) dan geser (*shear*) dari rotor mesin pembubuk telah mengubah bentuk fisik biji kopi yang semula oval menjadi butiran yang sangat halus.

Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah melakukan rekayasa dan uji kinerja mesin sangrai biji kopi yang cocok dan terjangkau oleh pengusaha kecil, baik secara teknologis maupun harga (Sri Mulato, 2002). Untuk membentuk rangkaian proses produksi bubuk kopi yang efisien, dan memberikan mutu akhir yang baik, maka sangat diperlukan penentuan unit pembubuk mekanis yang tepat. Mesin pembubuk tipe *disk mill* telah banyak digunakan untuk memperkecil produk pertanian berupa biji-bijian seperti jagung, kedelai, dan sebagainya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja mesin pembubuk tipe *disk mill* untuk memperkecil ukuran biji kopi pada berbagai ukuran biji dan tingkat sangrai. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai informasi dan pedoman operasional mesin agar diperoleh mutu produk akhir yang optimum serta dapat diselaraskan dengan aspek teknis dan ekonomis dari mesin sangrai yang telah ada.

## 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 2007.

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi Robusta hasil proses pengolahan kering yang diperoleh dari KP. Kaliwining, Jember. Biji kopi tersebut memiliki kisaran kadar air antara 13–14% (basis basah), densitas kamba antara 680–685 kg/m<sup>3</sup>, dan telah terpisah dari kotoran dan benda asing lainnya.

Peralatan dan mesin yang digunakan adalah mesin pengecil ukuran bahan pertanian tipe *disk mill*, alat ukur kadar air Digimost (*digital moisture tester*), alat pencatu data berupa komputer dan data *acquisition FLUKE*, alat ukur kecepatan putar (*tachometer*) TECPEL 1501, *chromameter* Minolta CR-300, seri ayakan jenis RETSCH/ASTM, timbangan analitik, dan beberapa alat bantu lainnya.

### Diskripsi Pembubuk Mekanis Tipe *Disk Mill*

Mesin yang diuji ini merupakan mesin pengecil ukuran bahan pertanian tipe *disk mill* yang telah banyak digunakan untuk memperkecil produk pertanian berupa biji-bijian seperti jagung, kedelai, dan lain-lain menjadi produk akhir berupa tepung. Modifikasi dilakukan pada beberapa komponen mesin agar dapat dipergunakan untuk memperkecil ukuran biji kopi pascasangrai. Beberapa modifikasi yang dilakukan, di antaranya penempatan sirip



adalah pengecilan ukuran biji kopi atau pembubukan (Sivetz & Desrosier, 1979; Rothfos, 1986). Pengecilan ukuran dilakukan dengan cara mekanis tanpa mengubah sifat-sifat bahan kimia yang terkandung di dalam bahan tersebut (Henderson & Perry, 1976). Penilaian karakterisasi bubuk kopi yang paling dominan berdasarkan kondisi fisik selain warna, rupa dan bau adalah keseragaman ukuran. Ukuran partikel biji kopi berpengaruh terhadap proses ekstraksi dalam penyeduhan kopi. Ukuran partikel yang lebih kecil akan semakin memperbesar luas kontak permukaan partikel kopi sangrai, sehingga senyawa pembentuk cita rasa dan senyawa penyegar mudah larut di dalam penyeduh. Sulistyowati (2002) melaporkan bahwa cara penyajian kopi bersama sedimen di dunia didominasi oleh peminum kopi dari Timur Tengah dan Indonesia. Salah satu contoh adalah kopi Turki yang dibuat dengan cara merebus bubuk kopi dan gula pada suhu yang tinggi. Bubuk kopi yang digunakan harus berukuran sangat halus mengingat seduhan tersebut disajikan bersama sedimennya.

Secara umum, industri kopi bubuk skala besar didukung oleh manajemen, modal, dan sumberdaya manusia yang baik, dan menggunakan peralatan pengolahan dengan teknologi tinggi. Di lain pihak industri menengah, meskipun tidak menggunakan peralatan impor langsung, mampu membeli sarana pengolahan yang cukup canggih di dalam negeri dengan lisensi dari pabrik pembuat alat di luar negeri. Sebaliknya, sebagian besar industri kopi bubuk skala menengah ke bawah masih menggunakan peralatan yang relatif sederhana sehingga

produk olahannya tidak kompetitif, dan produknya hanya terjual untuk pasar lapisan bawah (Sri Mulato, 2002; ICBS, 1998).

Sivetz & Desrosier (1979) melaporkan bahwa beberapa alat yang dapat digunakan untuk memperkecil ukuran biji-bijian di antaranya penumbuk dan lumpang, *disk mill*, *LePage Cut*, dan *Gump grinder*. Penumbuk dan lumpang masih banyak digunakan sebagai peralatan dasar untuk menghaluskan biji kopi sangrai. Kelemahannya di antaranya kapasitas produksi rendah, dan sering menimbulkan kerak (*caking*) pada dasar lumpang, sehingga perlu pembersihan yang mengakibatkan penurunan efisiensi produksi.

Mekanisme pengecilan ukuran yang terjadi di dalam *disk mill* adalah adanya gaya gesek antara permukaan biji dengan permukaan piringan dan sesama biji-bijian. Untuk biji-bijian dengan kadar minyak tinggi tidak diperoleh produk berupa bubuk, namun panas yang timbul akan mengeluarkan minyak dari pori-pori partikel dan diperoleh produk berupa pasta. Penggiling *LePage Cut* terdiri dari dua silinder pemotong. Salah satu silinder memiliki pisau pemotong yang berjajar melintang, dan pada silinder lainnya memiliki pisau pemotong yang membujur. Hasil penggilingan lebih seragam, suhu lebih rendah, dan kapasitas produksi tinggi. Sedangkan *Gump grinder* menyerupai penggiling silinder bertingkat agar diperoleh bubuk dengan tingkat keseragaman ukuran yang lebih halus dan baik (McCabe *et al.*, 1999).

Martadinata *et al.* (2001) dan Widyotomo & Sri Mulato (2000) melaporkan bahwa pengecilan ukuran biji kopi sangrai

### Summary

*One of important steps in secondary coffee processing that influence on final product quality such as consistency and uniformity is milling process. Usually, Indonesian smallholder used "lumpang" for milling coffee roasted beans to coffee powder product which caused the final product not uniformed and consistent, and low productivity. Milling process of coffee roasted beans can be done by disk mill type mechanical grinder which is used by smallholder for milling several cereals. Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute have developed disk mill type grinding machine for milling coffee roasted beans. Objective of this research is to find performance of disk mill type grinding machine for size reducing process of Robusta roasted beans from several size dried beans and roasting level treatments. Robusta dried beans which are taken from dry processing method have 13–14% moisture content (wet basis), 680–685 kg/m<sup>3</sup> density, and classified in 3 sizes level. The result showed that the disk mill type of grinding machine could be used for milling Robusta roasted beans. Machine has capacity 31–54 kg/h on 5,310–5,610 rpm axle rotation and depend on roasting level. Other technical parameters were 91–98% process efficiency, 19–31 ml/kg fuel consumption, 0.3–1% slips, 50–55% particles had diameter less than 230 mesh and 38–44% particles had diameter bigger than 100 mesh, 32–38% lightness was increased, 0.6–12.6% density was decreased, and solubility of coffee powder between 28–30%. Cost milling process per kilogram of Robusta roasted beans which light roast on capacity 30 kg/hour was Rp362.9.*

**Key words** : Coffee roasted, Robusta, disk mill, mechanical grinder, size reduction.

### PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu bahan baku minuman yang populer karena memiliki cita rasa dan aroma yang khas. Salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan pasar komoditas primer di luar negeri adalah perluasan pasar melalui diversifikasi produk sekunder. Pengembangan produk sekunder kopi memberikan beberapa keuntungan bagi Indonesia antara lain peningkatan nilai tambah yang lebih besar dibandingkan menjual biji kopi beras, memperluas lapangan kerja, pengembangan industri terkait, dan peningkatan konsumsi per kapita kopi di dalam negeri yang saat ini masih relatif

rendah, dan yang lebih penting adalah mengurangi ketergantungan terhadap pasar biji kopi beras di luar negeri (Sri Mulato, 2002). Dibandingkan dengan potensi pasar yang ada, jumlah industri kopi bubuk di Indonesia relatif masih sangat sedikit, yaitu sebanyak 426 buah, dengan kapasitas produksi sekitar 98.000 ton/tahun (Yusianto *et al.*, 2003; Sri Mulato, 2002). Lebih lanjut ICBS (1998) melaporkan bahwa 80% dari industri kopi bubuk tersebut merupakan industri kecil dan industri rumah tangga dengan kapasitas kurang dari 100 ton/tahun.

Salah satu tahapan proses produksi kopi bubuk yang sangat menentukan mutu akhir

## Kinerja Pembubuk Mekanis Tipe Piringan (*Disk Mill*) untuk Proses Pengecilan Ukuran Biji Kopi Robusta Pascasangrai

### *Performance of Disk Mill Type Mechanical Grinder for Size Reducing Process of Robusta Roasted Beans*

Sri Mulato<sup>1)</sup>, Sukrisno Widyotomo<sup>1)</sup>, dan Hadi K. Purwadaria<sup>2)</sup>

#### Ringkasan

Salah satu tahapan proses produksi kopi bubuk yang sangat menentukan mutu akhir adalah pengecilan ukuran atau pembubukan biji kopi pascasangrai. Umumnya, petani kopi di Indonesia menggunakan lumpang untuk proses pengecilan ukuran biji kopi sangrai menjadi kopi bubuk. Hasil yang diperoleh tidak seragam, terjadi pengerakan di dasar lumpang, dan produktivitas kerja relatif rendah. Mesin pembubuk tipe piringan (*disk mill*) telah banyak digunakan untuk memperkecil ukuran produk pertanian berupa biji-bijian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja mesin pembubuk tipe piringan yang telah dimodifikasi untuk memperkecil ukuran biji kopi pada berbagai ukuran biji dan tingkat sangrai. Biji kopi Robusta hasil pengolahan kering dengan kadar air antara 13–14% (basis basah), dan densitas kamba antara 680–685 kg/m<sup>3</sup> diklasifikasikan dalam tiga tingkat ukuran. Masing-masing kelompok biji kopi tersebut kemudian disangrai pada tingkat sangrai ringan, sedang, dan gelap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin tersebut memiliki kapasitas kerja antara 31–54 kg/jam tergantung pada tingkat sangrai biji kopi pada putaran poros 5.310–5.610 rpm. Adapun nilai dari beberapa parameter teknis lain yang sangat ditentukan oleh ukuran biji kopi dan tingkat sangrai yang dikenakan adalah : efisiensi proses pembubukan (rendemen produk) antara 91–98%, konsumsi bahan bakar 19–31 ml/kg biji kopi pascasangrai, kehilangan putaran selama proses pembubukan berkisar pada 0,3–1%, 50–55% bubuk kopi memiliki ukuran lebih kecil dari 230 mesh dan 38–44% memiliki ukuran lebih besar dari 100 mesh, kecerahan produk meningkat 32–38%, densitas kamba menurun antara 0,6–12,6%, dan kelarutan bubuk kopi 28–30%. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa untuk memperkecil ukuran biji kopi Robusta pascasangrai sebesar Rp362,9 per kg pada kapasitas kerja 30 kg/jam dengan tingkat sangrai rendah.

---

1) Peneliti (*Researcher*); Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman No. 90, Jember.

2) Guru Besar (*Professor*); Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB, Bogor.