

ABSTRAK DAN EXECUTIVE SUMMARY

PENELITIAN HIBAH BERSAING



Rancang Bangun Mesin Penyangrai Kopi Tipe Rotari

TIM PENGUSUL

Nama	NIDN
Sutarsi, S.TP, M.Sc	0026098101
Dr.Ir.Iwan Taruna, M.Eng	0005106905

UNIVERSITAS JEMBER

NOVEMBER 2015

ARTIKEL

PENELITIAN HIBAH BERSAING

ABSTRAK

Pengembangan produk sekunder yang mengarah ke industri hilir, akan memberikan nilai tambah serta menaikkan konsumsi kopi dalam negeri. Penggunaan alat penyangrai kopi di tingkat masyarakat saat ini masih langka dikarenakan ketersediaan mesin terbatas dan harga mesin masih relatif mahal. Agar masyarakat dapat memanfaatkan teknologi yang ada maka perlu adanya rancang bangun alat penyangrai kopi dengan harga jual yang terjangkau oleh masyarakat dan mampu menghasilkan kopi dengan cita rasa yang diharapkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari guna memenuhi kebutuhan alat dan mesin pendukung industri hilir kopi. Target luaran penelitian berupa prototipe mesin penyangrai kopi tipe rotari, publikasi pada jurnal nasional terakreditasi dan bahan ajar untuk mata kuliah Alat dan Mesin Pertanian serta Mata kuliah Teknik Pasca Panen Hasil Pertanian.

Metode yang digunakan untuk melakukan rancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari meliputi pertama, persiapan untuk menentukan rencana kerja. Kedua, identifikasi masalah dengan mengobservasi secara seksama alat dan mesin yang sudah ada dari segi kelemahannya (unjuk kerja alat, keterjangkauan harga, ketersediaan suku cadang dalam negeri, kesesuaian desain) dan menentukan letak perbaikan/modifikasi, sehingga diperoleh parameter prarancangan. Ketiga, menguji parameter prarancangan dengan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kesesuaian parameter prarancangan yang telah ditetapkan sehingga diperoleh parameter perancangan. Keempat, membuat gambar kerja sesuai dengan parameter perancangan. Kelima adalah pabrikan, membuat prototipe mesin penyangrai kopi.

Hasil rancangan fungsional mesin penyangrai kopi tipe rotari terdiri atas tujuh bagian yaitu ruang sangrai, kompor bertekanan, motor listrik, *speed reducer*, rumah sangrai, unit tempering, dan rangka. Hasil uji fungsional menunjukkan semua komponen mesin penyangrai mampu berfungsi sesuai fungsinya. Sedang hasil uji kinerja, mesin sangrai kopi tipe rotary telah memenuhi Standard Nasional Indonesia (SNI) 7465:2008.

Kata Kunci: Rancang Bangun, Penyangrai, Kopi, Rotari

PRAKATA

Tim peneliti menyampaikan terimakasih kepada pengelola DP2M DIKTI yang telah memberikan kepercayaan dan kesempatan kepada tim peneliti untuk melaksanakan program penelitian Hibah bersaing ini. Demikian juga kepada ketua dan seluruh staf lembaga penelitian Universitas Jember atas dukungan dan informasi yang selalu tersedia bagi tim peneliti. Rekan-rekan anggota penelitian, teknisi dan para mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini, atas apresiasi yang setinggi-tingginya untuk kerja kerasnya dalam penelitian ini. Melalui laporan akhir ini diharapkan ada saran dan koreksi yang akan memberikan umpan balik yang membangun bagi pelaksanaan penelitian yang akan datang. Sehingga penelitian ini bisa berguna bagi banyak pihak.

Akhir kata, kami Tim peneliti memohon maaf atas kekurangan yang ada dan terimakasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Jember, Nopember 2015

Sutarsi

Ketua Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	2
RINGKASAN	3
PRAKATA	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR LAMPIRAN	8
BAB I. PENDAHULUAN.....	9
1.1 Latar Belakang Masalah.....	9
1.2 Hasil yang ditargetkan.....	10
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Pengolahan Kopi	11
2.2 Penyangraian.....	12
2.3 Alat dan Mesin Penyangrai Kopi.....	14
2.4 Penelitian Pendahuluan.....	15
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	17
3.1 Tujuan Penelitian	17
3.2 Manfaat Penelitian.....	17
BAB IV. METODE PENELITIAN.....	19
4.1 Lokasi.....	19
4.2 Lingkup Kegiatan	19
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
5.1 Penyangraian menggunakan Mesin Penyangrai Kopi Tipe Rotari	24
5.2 Uji Fungsional Mesin Sangrai Tipe Rotari.....	25
5.3 Uji Kinerja Mesin Sangrai Tipe Rotari	29
5.4 Prosedur Operasi Standar Prototipe	38
5.5 Evaluasi	38
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	41
7.1 Kesimpulan	41
7.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Sistematika Penelitian dan Indikator Pencapaian	27
Tabel 5.1 Persyaratan unjuk kerja mesin sangrai kopi dan kako tipe silinder datar berputar.....	30
Tabel 5.2 Unjuk kerja mesin penyangrai kopi tipe rotari	30
Tabel 5.3 Keseragaman kadar air bahan hasil sangria	34
Tabel 5.4 Laju penyangraian kopi robusta menggunakan mesin sangrai tipe silinder horizontal.....	35
Tabel 5.5. Pengukuran putaran poros mesin dan silinder sangrai.....	36
Tabel 5.6 Konsumsi bahan bakar selama penyangraian.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram alir proses dan pengawasan produksi bubuk kopi	11
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian rancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari	20
Gambar 5.1 Profil suhu ruang sangrai selama pemanasan	24
Gambar 5.2 Mesin penyangrai kopi tipe rotary.....	25
Gambar 5.3 Ruang Sangrai	26
Gambar 5.4 Burner.....	27
Gambar 5.5 Motor Listrik	27
Gambar 5.6 <i>Speed Reducer</i>	28
Gambar 5.7 Rumah Sangrai.....	28
Gambar 5.8 Unit Tempering.....	29
Gambar 5.9 Rangka	29
Gambar 5.10 Hubungan waktu penyangraian dan kadar air bahan.....	33
Gambar 5.11 Pengukuran putaran silinder sangrai	37
Gambar 5.12 Pengukuran tingkat kebisingan mesin sangrai kopi tipe silinder horizontal.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Artikel ilmiah

Lampiran 2. Produk penelitian

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia saat ini menjadi salah satu negara penghasil biji kopi terbesar di dunia setelah Costa Rica dan Brasilia. Produksi saat ini mencapai 500 ribu ton dan diperkirakan akan terus meningkat secara nyata karena program peremajaan tanaman yang teratur dan perluasan kebun baru (Direktorat Jenderal Perkebunan, 1999). Pada satu sisi, peningkatan produksi tersebut memberikan kontribusi yang positif pada peningkatan pendapatan ekspor. Namun di sisi lain, suatu tindakan antisipatif perlu dilakukan untuk menghadapi penurunan harga secara drastis yang sewaktu-waktu terjadi karena kelebihan pasokan biji kopi di pasaran dunia (USDA, 2000). Saat ini struktur industri pengolahan kopi nasional belum seimbang, hanya 20% kopi diolah menjadi kopi olahan dan 80% masih dalam bentuk kopi biji kering (Departemen Perindustrian, 2009).

Bubuk kopi merupakan produk kopi olahan dan salah satu bahan minuman yang digemari baik oleh penduduk pedesaan ataupun penduduk perkotaan. Dengan jumlah penduduk di Indonesia yang mencapai lebih dari 200 juta, pasar bubuk kopi di dalam negeri masih dapat ditingkatkan (Departemen Perindustrian, 2009). Konsumsi kopi domestik sekarang ini masih sangat rendah yaitu hanya 70.000 ton/tahun atau sekitar 0,5 kg/orang/tahun. Nilai ini jauh lebih rendah daripada tingkat konsumsi di negara-negara lain seperti Finlandia, Norwegia, Denmark, Austria, Jerman dan Belanda, yang mencapai sekitar 8 – 11 kg per orang/tahun. Berdasarkan aspek ekonomis, harga biji kopi dalam sepuluh tahun terakhir ini cenderung menurun, sedangkan harga bubuk kopi makin meningkat (USDA, 2000).

Pengembangan industri hilir kopi bubuk perlu dikembangkan di sentra-sentra produksi kopi sehingga proses produksinya murah dan harganya terjangkau masyarakat terutama di tingkat pedesaan. Kabupaten Jember, merupakan sentra produksi kopi yang memiliki peluang besar dalam mengembangkan industri hilir kopi. Selain itu, perluasan industri ini akan mempunyai efek berantai terhadap pertumbuhan industri dan jasa yang terkait dengan produk tersebut seperti industri logam dan mesin, industri plastik untuk pengemasan, jasa periklanan dan jasa distribusi (Departemen Perindustrian, 2009).

Pengembangan produk sekunder yang mengarah ke industri hilir, akan memberikan nilai tambah serta menaikkan konsumsi kopi dalam negeri. Konsumsi kopi saat ini

diperkirakan sekitar 0,50 kg/orang/tahun dan diharapkan dapat ditingkatkan menjadi 1 kg pada beberapa tahun mendatang. Dengan usaha tersebut diharapkan, peluang pasar dalam negeri dapat ditangkap dan pengaruh negatif fluktuasi harga biji kopi pasar dunia terhadap pendapatan petani dapat dikurangi. Dalam usaha pengolahan produk sekunder biji kopi masih banyak kendala yang dihadapi diantaranya faktor produksi yaitu terbatasnya fasilitas berupa mesin dan peralatan penunjang terutama di tingkat usaha industri skala kecil dan menengah. Keberadaan mesin penyangrai kopi sangat penting dalam mendukung proses penyangraian optimum untuk menghasilkan cita rasa akhir kopi yang *excellence* (Sulistiyowati et al., 1996). Penggunaan alat penyangrai kopi di tingkat masyarakat saat ini masih langka dikarenakan ketersediaan mesin terbatas dan harga mesin masih relatif mahal. Agar masyarakat dapat memanfaatkan teknologi yang ada maka perlu adanya rancang bangun mesin penyangrai kopi dengan harga jual yang terjangkau oleh masyarakat dan mampu menghasilkan kopi cita rasa yang diharapkan.

1.2 Hasil yang ditargetkan

Target luaran yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

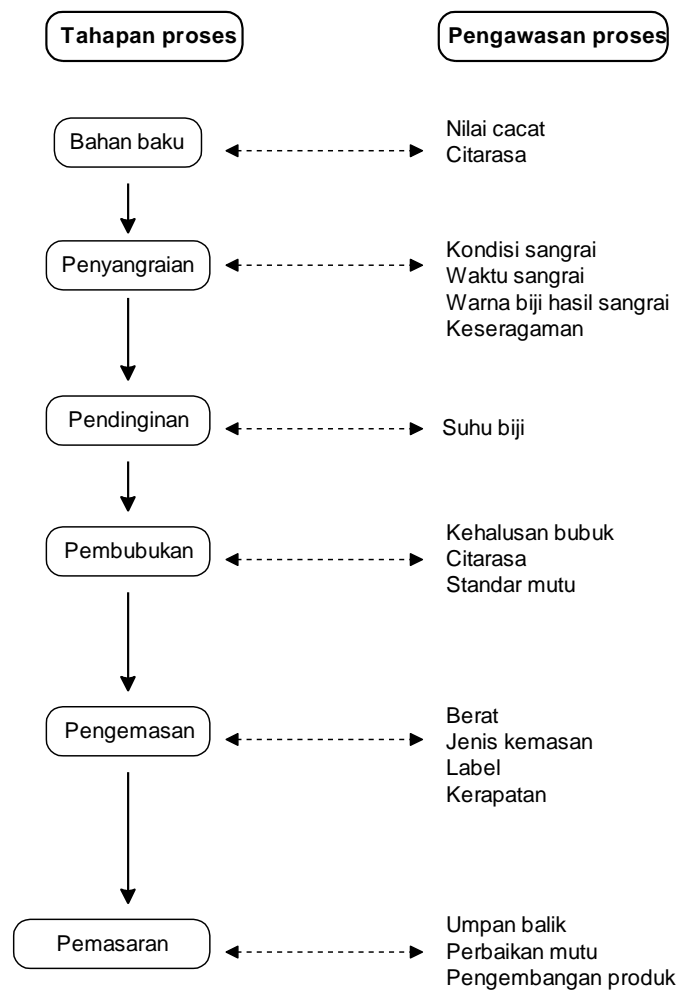
- a. Prototipe mesin penyangrai kopi tipe rotari.
- b. Publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi nasional.
- c. Bahan ajar untuk mata kuliah alat dan mesin pertanian dan mata kuliah teknik pasca panen dan pengolahan hasil pertanian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan kopi

Penanganan kopi setelah panen dimulai dengan pemanenan buah kopi, sortasi (pemilahan) gelondong, pengupasan kulit buah (*pulping*), fermentasi, pencucian, penjemuran/pengeringan mekanis, pengupasan kulit kering (*hulling*), dan kemudian dilanjutkan dengan proses pengolahan sekunder yang meliputi sortasi biji, penyangraian, pencampuran, pembubukan, uji cita rasa dan pengemasan.

Proses pengolahan produk sekunder (kopi bubuk) sebaiknya juga dilakukan secara kelompok. Unit produksinya diharapkan menjadi salah satu bagian dari sentra pengolahan produk primer. Tahapan produksi bubuk kopi berikut pengawasan prosesnya disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram alir proses dan pengawasan produksi bubuk kopi

Kunci proses produksi kopi bubuk adalah penyangraian. Proses ini merupakan tahapan pembentukan aroma dan citarasa khas kopi dari dalam biji kopi dengan perlakuan panas. Biji kopi secara alami mengandung cukup banyak senyawa organik calon pembentuk citarasa dan aroma khas kopi (Sivetz and Desrosier, 1979).

2.2 Penyangraian

Di pabrikan, kopi dinilai berdasarkan cita rasanya (*cup quality*), bukan berdasarkan kenampakan biji mentah maupun hasil sangrainya. Aroma kopi merupakan campuran kompleks senyawa volatil dan sangat berpengaruh terhadap kualitas seduhan. Cita rasa juga terdiri atas komponen kimia kompleks tetapi tidak volatil. Setiap tahap pengolahan dapat mempengaruhi cita rasa kopi, mulai dari pemanenan, pengolahan, penyimpanan. Namun, proses penyangraian menentukan karakteristik cita rasa akhir, sehingga karakter penyangraian sering lebih diutamakan daripada asal kopi (Sweet-Maria, 2004). Penyangraian merubah dan memperkaya flavor, warna, tekstur dan penampakan bahan. Selain itu, biji kopi hasil sangrai mudah dihaluskan sampai ukuran butiran tertentu sehingga mudah dibuat larutan seduhan (Mulato dkk, 2006).

Penyangraian biji kopi adalah proses pemaparan biji kopi pada pemanasan tinggi (180°C) untuk menurunkan kadar air, mendorong terjadinya proses pirolisis sehingga terbentuk cita rasa (Pintauro, 1969). Selama proses penyangraian ada tiga tahapan reaksi fisik dan kimiawi berjalan secara berurutan, yaitu penguapan air dari dalam biji, penguapan senyawa-senyawa volatil (senyawa yang mudah menguap) antara lain aldehid, furfural, keton, alkohol, dan ester serta proses pirolisis atau pencoklatan biji (Mulato dkk, 2006).

Mekanisme transfer panas dan massa pada penyangraian seperti pada pengeringan. Peningkatan suhu penyangraian menyebabkan peningkatan laju pengeringan bahan selama proses penyangraian. Pada tahap awal proses, energi panas yang tersedia di dalam ruang sangrai digunakan untuk menguapkan air. Kadar air kopi yang semula 12 % turun secara cepat menjadi 4% pada saat pemanasan berlangsung 14 menit. Setelah itu, penurunan kadar air berlangsung relative lambat dan mencapai 2,8% pada selang waktu pemanasan 22 menit. Fenomena ini berkaitan dengan kecepatan rambat air (difusi) di dalam jaringan sel biji kopi. Makin rendah kandungan air dalam biji kopi, kecepatan penguapan air menjadi menurun karena posisi molekul air terletak makin jauh dari permukaan biji bersamaan dengan penguapan air. beberapa senyawa volatil yang terkandung di dalam biji kopi seperti aldehid, furfural, keton, alcohol dan ester (senyawa yang menguap teruapkan). Peristiwa ini ditandai

dengan penurunan kerapatan curah sebagai akibat dari perubahan fisik biji kopi seperti pengembangan volume (*swelling*) dan pembentukan pori-pori di dalam jaringan sel sehingga berat biji kopi per satuan volume menjadi lebih kecil (Sivetz & Desrosier, 1979; Illy & Viani, 1995).

Pirolisis pada dasarnya merupakan reaksi dekomposisi senyawa hidrokarbon antara lain karbohidrat, hemiselulosa dan selulosa yang ada di dalam biji kopi sebagai akibat dari pemanasan. Reaksi ini umumnya terjadi setelah suhu sangrai di atas 180°C. Secara kimiawi, proses ini ditandai dengan evolusi gas CO₂ dalam jumlah banyak dari ruang sangrai. Sedang secara fisik, pirolisis ditandai dengan perubahan warna biji kopi yang semula kehijauan menjadi kecoklatan. Pada suhu penyangraian tinggi, reaksi pencoklatan non enzimatis terjadi antara gugus karbonil dari gula pereduksi dengan asam amino atau protein dan menyebabkan kehilangan satu mol air. Reaksi itu terkait dengan pembentukan warna dan aroma.

Variable-variabel dalam penyangraian yang menentukan karakter aroma dan cita rasa seduhan antara lain: (1) sifat fisiko-organoleptik biji kopi: panas spesifik, kadar air, ukuran, bentuk, kesehatan (*whole-someness*), asal, jenis, cara pengolahan dan penyimpanan biji kopi, (2) metode penyangraian: nisbah antara suhu dan lama penyangraian, (3) derajat sangrai. Kopi bermutu tinggi sekalipun tidak dapat memiliki aroma dan cita rasa maksimum, jika penyangraian tidak tepat (Sulistiyowati et al., 1996; Sulistiyowati et al., 2002; Clarke, 1985, Sivetz & Foote, 1963).

Kisaran suhu sangrai yang umum dibagi menjadi tiga. Suhu 190-195°C untuk tingkat sangrai ringan (warna coklat muda). Suhu 200-205°C untuk tingkat sangrai medium (warna coklat agak gelap). Suhu di atas 205°C untuk tingkat sangrai gelap (warna coklat tua cenderung agak hitam).

Waktu penyangraian bervariasi mulai dari 7 sampai 30 menit tergantung pada jenis alat dan mutu kopi bubuk. Penyangraian diakhiri saat aroma dan cita rasa kopi yang diinginkan telah tercapai yang diindikasikan dari perubahan warna biji yang semula berwarna kehijauan (kopi arabika) menjadi coklat tua, coklat kehitaman dan hitam.

Kalangan praktisi industri kopi bubuk mengenal 3 tingkatan penyangraian, yaitu ringan (*light*), menengah (*medium*) dan gelap (*dark*). SCAA (*Specialty coffee Association of America*). Derajat sangrai dilihat dari perubahan warna biji kopi yang sedang disangrai. Sampel diambil secara periodik dari dalam silinder sangrai lewat lubang sampling. Proses sangrai dihentikan pada saat derajat sangrai biji kopi sudah dipenuhi melalui perbandingan warna dengan warna sampel standar.

Tahapan penyangraian mulai dari ringan warna *cinnamon-chocolate* muda/cokelat susu (*American roast* atau *cinnamon roast*), penyangraian medium menghasilkan warna coklat penuh (antara coklat gelap sampai susu). Penyangraian *medium-dark* menghasilkan warna coklat tua dengan sedikit berminyak. Penyangraian *French roast* dengan permukaan biji berminyak tetapi kurang mengkilat dengan warna coklat tua sekali (hampir mendekati *Viennese roast* atau *full city roast*). Beberapa konsumen sering salah sangka bahwa *French roast* merupakan tingkat penyangraian tertua. Penyangraian gelap dengan permukaan sangat mengkilat dan berminyak dengan warna hampir hitam, sering disebut *full city roast*, *Italian roast* atau *Viennese roast*. Penyangraian lebih dari itu disebut penyangraian berlebih. Selama penyangraian, gula-gula dan karbohidrat lainnya terkaramelisasi membentuk substansi minyak kopi". Secara teknis, senyawa ini sangat tidak stabil dan bukan minyak sesungguhnya, akan tetapi merupakan campuran senyawa-senyawa pembentuk flavor dan aroma (Ineed Coffee, 2004; Clifford, 1985; The Tartan Bean Coffee Company, 2004).

Setelah matang biji sangrai dikeluarkan dari mesin, dan harus cepat didinginkan untuk mencegah proses penyangraian lanjutan. Ada tiga pendinginan, yaitu pendinginan dengan air, pada udara normal/terbuka, dan dengan tiupan udara. Setelah disangrai, jika kopi sangrai terbuka di udara, cita rasa mulai rusak dengan sangat cepat. Kenyataannya sejumlah cita rasa akan hilang dalam waktu 7 sampai 10 hari.

Proses penyangraian sangat menentukan cita rasa akhir, akan tetapi tanpa bahan baku biji kopi yang baik, maka tidak akan diperoleh hasil yang baik. Perbedaan wilayah atau Negara penghasil kopi biji menyebabkan perbedaan cita rasa khas. Pencampuran antar kopi yang berbeda-beda dapat menghasilkan minuman dengan karakteristik khas (*specialty coffee*).

2.3 Alat dan Mesin Penyangrai Kopi

Sebelum tahun 900, kopi telah disangrai, dengan tujuan membentuk aroma dan flavor yang maksimum. Alat roaster modern merupakan hasil evolusi mulai dari roaster batu kasar tahun 1200-an, kemudian roaster drum tahun 1650, hingga kini roaster terkomputerisasi.

Dua jenis metode penyangraian umum yaitu roaster tipe drum dan roaster udara panas. Roaster tipe drum dioperasikan dengan cara mengaduk kopi dalam drum yang dipanasi api gas atau kayu. Komponen utama *roaster drum* tradisional ada tiga bagian, generator panas, drum/bejana roaster serta pendingin kopi sangrai. Roaster tipe rotari steel cylinder tradisional, karena suhu dinding roaster tinggi (lebih dari 800oF/426,7oC)

menyebabkan terbakarnya permukaan biji, “minyak” yang terlepas akan menyelimuti permukaan biji, dan timbul asap, yang menyebabkan cacat cita rasa *harsh*, *biting*, *burnt*, dan *dirty*. Untuk mengatasi hal ini maka Mike Sivetz tahun 1975 mengembangkan *roaster fluid bed* yang menghasilkan biji bebas tar, bersih, halus tanpa cacat cita rasa *biting*. Metode roaster udara panas, yang dikenal juga sebagai *fluid bed roaster*, yaitu kopi biji diaduk/diputar pada aliran udara panas sampai matang.

Dalam skala rumah tangga, rancangan roaster pertama terbuat dari kaleng baja tahun 1880-an, kemudian roaster berbahan bakar gas tahun 1920-1930an, kombinasi drum/stove-top-pan, copper home roaster (Sweet- Maria, 2004b) Penyangraian kopi skala rumah tangga lainnya yaitu tipe stove-top, long handle roaster (sistem pemanasan radiasi/konveksi panas), serta hot top electric drum coffee roaster yang sangat mirip dengan roaster komersial probat 112 (Sweet –Maria, 2004d).

2.4 Penelitian terdahulu

2.4.1 Karakter fisik dan cita rasa kopi hasil penyangraian sistem pemanasan langsung

Penelitian karakter fisik dan cita rasa kopi hasil penyangraian sistem pemanasan langsung memberikan kualitas yang cukup baik untuk kopi arabika dan robusta. Kapasitas rata-rata tiap penyangraian 38,17kg kopi biji dengan waktu 48,92 menit. Setiap tabung elpiji 50kg dapat digunakan 34-35 kali penyangraian atau setara dengan 1303kg biji kopi, dengan rata-rata rendemen 82,93%, densitas kamba 0,44 dan peningkatan volume 24,06%. Aroma dan cita rasa terbaik adalah arabika pengolahan basah, diikuti robusta pengolahan basah, kemudian robusta pengolahan kering. Nilai aroma dan cita rasa kopi antara medium-baik (3,00-4,00), keasaman antara kurang-medium, Body-medium. Body dan bitterness robusta lebih tinggi dari arabika. Cacat cita rasa yang uncul dari arabika adalah green, sour, astringent, dan earthy, sedangkan dari kopi robusta adalah astringent dan green (Yusianto, 2003).

2.4.2 Prediksi warna dan luas permukaan kopi selama penyangraian

Penyangraian kopi merupakan satuan operasi yang membentuk sifat organoleptik (warna, aroma dan rasa) yang menentukan kualitas kopi. Namun demikian, proses penyangraian sangat kompleks terkait jumlah panas yang mengenai bahan. Selama proses penyangraian kopi, penurunan kadar air, reaksi kimia (oksidasi, reduksi, hidrolisis, polimerisasi, decarboksilasi dan reaksi kimia yang lain). Hal ini menyebabkan perubahan pada warna, volume, massa, bentuk, pH, densitas, senyawa volatil yang terbentuk dan terbentuknya gas CO₂. Setelah proses penyangraian kopi harus segera didinginkan untuk

menghentikan reaksi (Schwartzberg, 2000; Illy and Viani, 1998; Nagaraju et al., 1997; Raemy, 1981; Raemy and Lambelet, 1982; Singh et al., 1997; Sivetz and Desrosier, 1979).

Kualitas kopi dievaluasi menggunakan parameter yang berbeda (aroma, rasa, warna, suhu bahan, ph, komposisi kimia, kehilangan massa, komposisi gas dan volume (Hernández-Pérez, 2002; Schwartzberg, 2000; Illy and Viani, 1998; Nagaraju et al., 1997). Dalam industri, prediksi parameter online sangat sulit. Kondisi operasi ditentukan berdasarkan pengukuran tidak online terkait sifat organoleptik (warna, aroma dan rasa), sifat fisik (suhu udara dan waktu proses) (Hernandez et al., 2007a). Metode ini efektif untuk bahan dengan kondisi seragam, dimana hal ini sangat sulit dicapai pada industri pangan. Oleh karena itu, untuk mengontrol proses, pengukuran kualitas produk secara online dapat dilakukan. Hernandez et al. (2007b), meneliti metode untuk menentukan pengukuran warna dan luas permukaan dengan menggunakan analisis image dan model matematik berdasarkan jaringan saraf tiruan untuk memprediksikan warna selama penyangraian kopi.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian selama dua tahun dirinci menjadi tujuan tahun I dan tahun II.

Tahun I:

1. Menetapkan rancang bangun mesin penyangrai kopi sebagai sasaran penelitian
2. Menentukan Parameter prarancangan mesin penyangrai kopi
3. Menentukan parameter perancangan mesin penyangrai kopi tipe rotari
4. Membuat gambar kerja mesin penyangrai kopi tipe rotari
5. Membuat prototipe mesin penyangrai kopi tipe rotari

Tahun II:

1. Melakukan uji fungsional mesin penyangrai kopi tipe rotari
2. Melakukan uji kinerja mesin penyangrai kopi tipe rotari
3. Membuat Prosedur Operasi Standar (POS) pengoperasian mesin penyangrai kopi tipe rotari
4. Melakukan evaluasi untuk mendapatkan umpan balik dari user guna perbaikan mesin penyangrai kopi tipe rotari.
5. Komersialisasi mesin penyangraian kopi tipe rotari

3.2 Manfaat Penelitian

Pengembangan produk sekunder yang mengarah ke industri hilir, akan memberikan nilai tambah serta menaikkan konsumsi kopi dalam negeri. Dengan usaha tersebut diharapkan, peluang pasar dalam negeri dapat ditangkap dan pengaruh negatif fluktuasi harga biji kopi pasar dunia terhadap pendapatan petani dapat dikurangi.

Usaha pengembangan produk sekunder biji kopi masih mengalami banyak kendala, satu diantaranya adalah faktor produksi terutama teknologi penyangraian dan mesin pendukungnya. Keberadaan mesin penyangrai saat ini terbatas di kalangan industri besar. Rendahnya akses industri kecil menengah terhadap teknologi mesin penyangrai dikarenakan faktor harga mesin yang relatif mahal sehingga mereka masih menggunakan praktik-praktik tradisonal. Mengingat pentingnya keberadaan mesin penyangrai kopi dalam mendukung pengembangan produk sekunder kopi maka penelitian rancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari sangat mendesak untuk dilakukan.

Keunggulan mesin penyangrai kopi tipe rotari adalah mesin menggunakan sistem *direct heating* sehingga pemanasan lebih cepat dan hemat energi. Ruang penyangrai diputar secara mekanis dengan kecepatan putar satu rpm sehingga proses penyangraian merata. Mesin memiliki sensor suhu untuk mengontrol suhu ruang sangrai guna mendapatkan kopi sangrai sesuai dengan tingkat sangrai yang dikehendaki. Mesin dilengkapi dengan unit *tempering* dengan sistem *forced convection* agar proses pendinginan kopi sangrai berjalan cepat untuk mencegah *over roasting*. Berbagai fasilitas penunjang yang terdapat dalam mesin diharapkan mampu menghasilkan produk kopi dengan cita rasa *excellence*. Kapasitas mesin didesain mampu menyangrai 8kg kopi/batch. Selain itu harga mesin juga terjangkau sehingga meningkatkan aksesibilitas usaha hilir kopi skala kecil menengah.

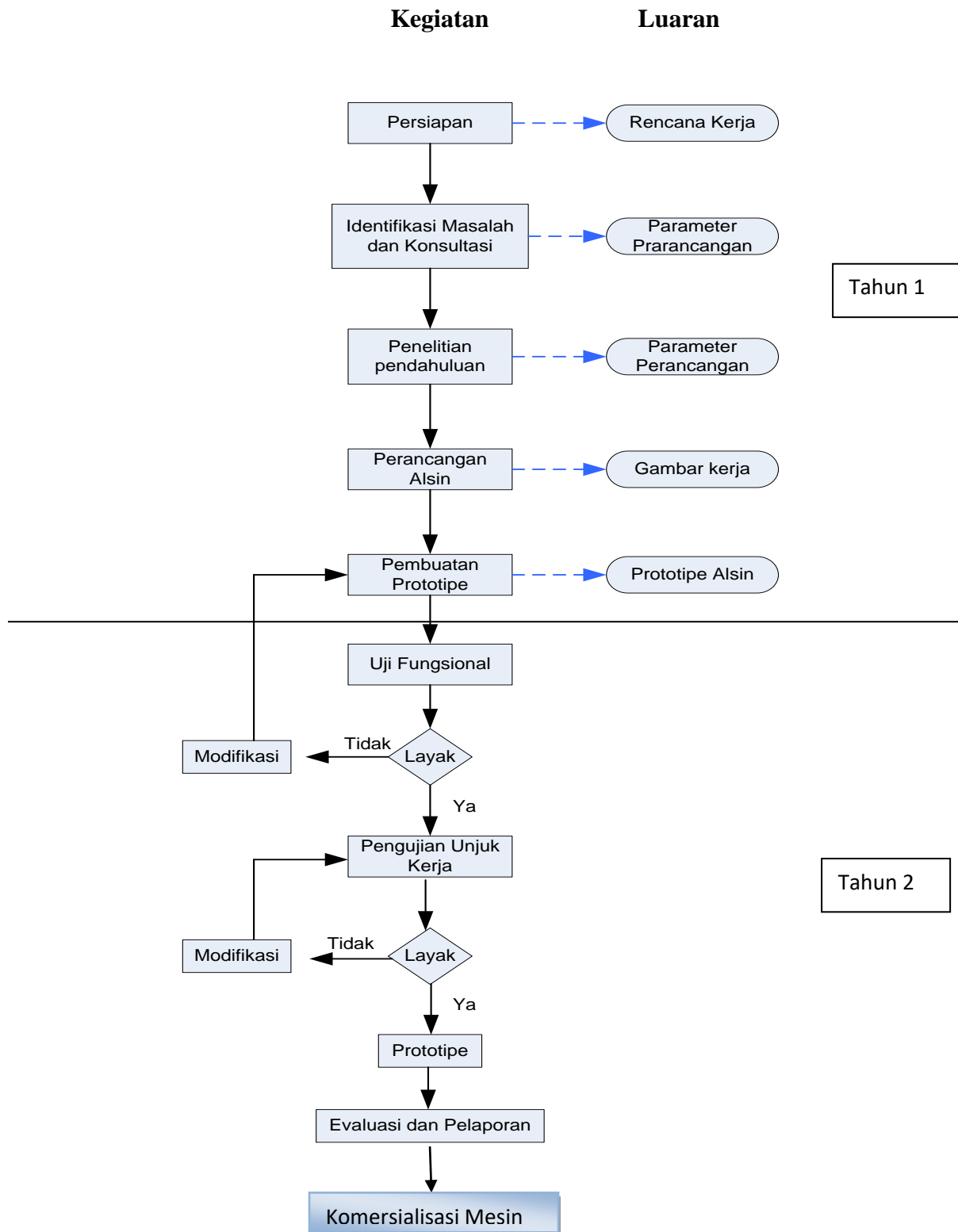
BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Alat dan Mesin Pertanian, Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember dan masyarakat petani kopi yang terhimpun dalam Koperasi Buah Ketakasi di Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember.

4.2 Lingkup Kegiatan

Rancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari meliputi serangkaian kegiatan yang tidak bisa saling terpisahkan. Kegiatan yang telah dilaksanakan saat ini sampai pada tahap pembuatan gambar kerja. Rangkaian kegiatan rancang bangun tersebut secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram alir penelitian rancang bangun mesin penyangrai kopi tipe rotari

Tahapan kegiatan pada Gambar 4.1 dapat dijelaskan berikut ini.

1. Persiapan

Proses rancang bangun mesin penyangrai tipe rotari dimulai dengan persiapan. Tahap ini dilakukan untuk membuat rencana kerja yang menggambarkan kegiatan yang akan dilaksanakan. Peneliti mengamati permasalahan yang muncul di lapang kemudian mencari penyelesaian masalah.

2. Identifikasi Masalah

Tahap kedua adalah identifikasi masalah. Setelah masalah ditemukan maka langkah selanjutnya adalah identifikasi. Peneliti mengobservasi secara seksama alat dan mesin yang sudah ada dari segi kelemahannya (unjuk kerja alat, keterjangkauan harga, ketersediaan suku cadang dalam negeri, kesesuaian desain). Dari observasi peneliti dapat menentukan letak perbaikan/ modifikasi, sehingga akan muncul parameter prarancangan.

3. Penelitian pendahuluan

Langkah selanjutnya menguji parameter prarancangan dengan penelitian pendahuluan. Kegiatan ini untuk mengetahui kesesuaian parameter prarancangan yang telah ditetapkan. Jika telah sesuai maka parameter prarancangan dapat ditetapkan sebagai parameter perancangan.

4. Perancangan alsin

Setelah diketahui parameter perancangan, peneliti membuat gambar kerja sesuai dengan parameter perancangan.

5. Pembuatan prototipe

Langkah selanjutnya adalah proses pabrikasi. Berdasarkan gambar kerja, peneliti membuat alat dan mesin sehingga menghasilkan prototipe alat dan mesin.

6. Uji fungsional

Prototipe selanjutnya diuji fungsional. Uji ini untuk mengetahui apakah masing-masing komponen alat dan mesin telah berfungsi sesuai fungsinya atau belum. Jika belum maka perbaikan perlu dilakukan pada komponen yang belum berfungsi sampai keseluruhan komponen berfungsi dengan baik. Mesin penyangrai memiliki 4 komponen utama yaitu: ruang penyangrai, unit penggerak mekanis, tungku pembakaran dan unit pendingin. Ruang penyangrai berfungsi menampung bahan yang disangrai selama proses penyangraian. Unit penggerak mekanis berfungsi untuk memutar ruang penyangrai sehingga hasil sangrai seragam. Tungku pembakaran berfungsi untuk mensuplai energi yang diperlukan untuk

proses penyangraian. Unit pendingin berfungsi untuk mendinginkan segera kopi yang telah disangrai.

7. Uji unjuk kerja

Tahap selanjutnya peneliti akan menguji unjuk kerja alat dan mesin yang telah lulus uji fungsional. Uji ini untuk mengetahui kapasitas kerja alat dan mesin, rendemen, efisiensi dan kualitas produk output alat dan mesin (sifat fisik, kimia dan uji cita rasa kopi). Jika unjuk kerja alat dan mesin masih rendah maka perlu ada perbaikan atau modifikasi untuk memperoleh unjuk kerja yang bagus.

8. Pembuatan prosedur operasi standar prototipe

Prototipe alat dan mesin yang secara fungsional maupun unjuk kerja telah bagus menuntut adanya kondisi pengoperasian tertentu. Sebelum alat dan mesin sampai pada *enduser* maka perlu dibuatkan Prosedur Operasi Standar (POS). Tugas peneliti selanjutnya membuat POS agar alat bekerja pada kondisi optimum. POS merupakan prosedur yang harus ditaati saat pengoperasian alat dan mesin. Sehingga alat dan mesin yang secara fungsional dan operasional bagus dengan mengikuti POS maka alat dan mesin akan tetap bagus. Alat dan mesin yang bagus dapat mengalami kerusakan jika pengoperasiannya tidak benar.

9. Evaluasi

Langkah terakhir dari tugas seorang peneliti adalah melakukan diseminasi (publikasi) dari hasil rekayasannya. Kegiatan ini dilakukan dengan menempatkan mesin penyangrai kopi tipe rotari di lokasi *user* dengan jangka waktu tertentu. Masyarakat Desa Sidomulyo, Silo, Jember dipilih karena penduduknya mayoritas sebagai petani kopi yang tergabung dalam Koperasi Buah Ketakasi dan merupakan Desa Binaan Universitas Jember. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan umpan balik dari *user/* pengguna. Jika umpan balik negatif maka peneliti perlu mengkaji kembali guna melakukan perbaikan maupun modifikasi. Jika umpan balik baik maka prototipe sosialisasikan secara umum dan dilanjutkan dengan proses komersialisasi.

Sistematika penelitian dan indikator pencapaian yang meliputi parameter, metode, luaran, tujuan dan indikator kinerja ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Sistematika Penelitian dan Indikator Pencapaian

No	Tahap	Parameter	Metode	Luaran	Tujuan	Indikator Kinerja
1	Persiapan	- Permasalahan masyarakat petani kopi - Pemecahan masalah	<i>Problem solving</i> terhadap permasalahan pengembangan industri hilir kopi	Rencana Kerja	Menetapkan sasaran penelitian yaitu rancang bangun mesin penyangrai kopi sebagai solusi permasalahan	Terbentuknya rencana kerja yang jelas
2	Identifikasi masalah dan konsultasi	Kelemahan dari alat dan mesin penyangrai yang sudah ada meliputi: ujuk kerja alat, keterjangkauan harga, ketersediaan suku cadang dalam negeri, kesesuaian desain	Observasi kelemahan alat dan mesin penyangrai yang sudah ada	Perbaikan/modifikasi mesin penyangrai kopi	Menentukan Parameter prarancangan	Diperoleh parameter prarancangan
3	Penelitian pendahuluan	Kesesuaian parameter prarancangan	Uji parameter prarancangan	Parameter perancangan	Menentukan parameter perancangan mesin penyangrai kopi tipe rotari	Diperolehnya parameter perancangan
4	Perancangan mesin penyangrai	Desain mesin penyangrai meliputi: -Dimensi ruang penyangrai -RPM mesin pemutar ruang sangrai -Kebutuhan energi untuk penyangraian -Kebutuhan daya untuk keseluruhan -Laju pembakaran bahan bakar	Menuangkan rancangan mesin penyangrai dalam bentuk gambar	Gambar kerja	Membuat gambar kerja	Diperolehnya gambar kerja
5	Pembuatan prototipe	-Ruang penyangrai -unit pemutar mekanis -tungku pembakaran -unit tempering	Fabrikasi	Prototipe	Mewujudkan gambar kerja dalam bentuk prototipe	Terbentuknya prototipe
6	Pelaporan	-Penyelesaian laporan	Pembuatan laporan	Laporan penelitian	Melaporkan hasil penelitian	Terselesaikannya laporan penelitian
7	Uji fungsional	-kemampuan menampung bahan -ruang penyangrai berputar secara otomatis -tersedia sumber energi untuk penyangraian	-Menguji fungsi komponen-komponen mesin penyangrai -modifikasi mesin penyangrai	Prototipe mesin penyangrai beroperasi sesuai fungsinya	Membuat prototipe dapat berfungsi	Terbentuk prototipe yang dapat bekerja sesuai fungsinya
8	Pengujian unjuk kerja	-kapasitas sangrai -efisiensi panas -kualitas produk	-menguji kapasitas penyangraian -menghitung efisiensi penggunaan panas -modifikasi mesin penyangrai	Unjuk kerja mesin penyangrai yang baik	Menguji kinerja mesin penyangrai	Diperolehnya mesin penyangrai dengan unjuk kinerja yang baik
9	Pembuatan POS	-Persiapan alat -Cara pengoperasian mesin -perawatan mesin	Menuangkan hal-hal yang harus diperhatikan dalam suatu manual sebagai pedoman <i>enduser</i>	POS (Prosedur Operasi Standar)	Membuat POS	Terbentuk POS pengoperasian mesin penyangrai
10	Evaluasi	Umpan balik user	-Memberikan kesempatan kepada user untuk mencoba mesin penyangrai dan meminta umpan balik	-kuesioner umpan balik user	-untuk mendapatkan umpan balik dari user -untuk melakukan perbaikan maupun modifikasi	<ul style="list-style-type: none"> Kinerja mesin meningkat
11	Komersialisasi	Pembelian mesin penyangrai oleh user	-Promosi produk melalui pameran, menyebar brosur, demo mesin ditingkat user	Produksi mesin untuk komersial	-mendapatkan RGA dari hasil penjualan mesin	<ul style="list-style-type: none"> Adanya user yang membeli alat
12	Pelaporan	-Penyelesaian laporan	Pembuatan laporan	Laporan penelitian	Melaporkan hasil penelitian	Terselesaikannya laporan penelitian

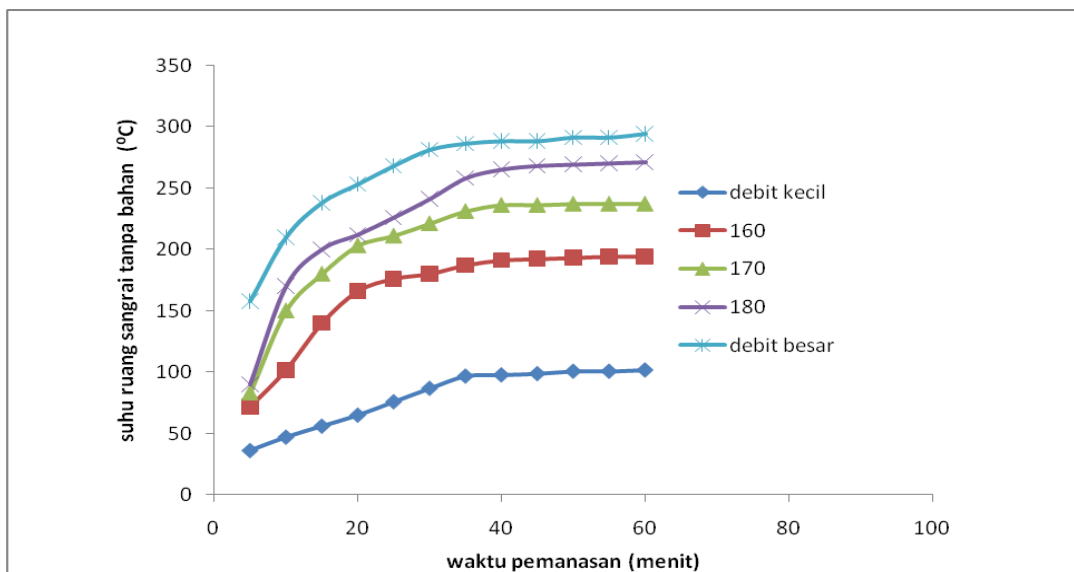
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Penyangraian menggunakan Mesin Penyangrai Kopi Tipe Rotari

Sebelum proses penyangraian kopi dilakukan, ruang sangrai terlebih dahulu dipanasi hingga mencapai suhu yang diinginkan. Gambar 5.1 menunjukkan profil suhu ruang sangrai selama pemanasan. Setelah kondisi tercapai kopi beras kemudian dimasukkan ke dalam silinder sangrai menggunakan alat bantu berupa corong.

Setelah kopi dimasukkan ke dalam mesin sangrai motor penggerak dinyalakan. Kecepatan putaran motor listrik sebesar 1457 rpm. Kecepatan putar motor diturunkan dengan menggunakan alat *speed reducer* dengan rasio 1:20, sehingga kecepatan putar yang keluar dari *speed reducer* menjadi 72 rpm. Kecepatan putar ke silinder sangrai diturunkan lagi dengan menggunakan *gear box* dan rantai dengan perbandingan 14 gigi pada poros *speed reducer* dan 41 gigi pada silinder sangrai sehingga kecepatan putar pada silinder sangrai menjadi 24 rpm.

Selama proses penyangraian, kopi sangrai perlu dilakukan pembalikan agar kopi hasil sangrai seragam/merata. Di dalam silinder sangrai terdapat 2 buah besi berupa pelat tipis dengan ketebalan 2mm dan lebar 5cm dengan panjang 63cm yang menempel pada dinding silinder sangrai. Pelat tersebut dilekatkan pada posisi 180° (berhadap-hadapan). Saat silinder sangrai berputar, pelat dengan posisi di bawah akan bergerak ke atas dengan membawa sejumlah kopi, sedangkan pelat yang lainnya akan menumpahkan kopi ke dalam silinder. Dengan pergerakan tersebut menyebabkan proses pembalikan kopi selama penyangraian, sehingga menghasilkan kopi sangrai matang seragam.



Gambar 5.1 Profil suhu ruang sangrai selama pemanasan

Proses penyangraian diakhiri ketika kopi sudah mencapai derajat sangrai tertentu. Hal ini ditandai dengan adanya bunyi letupan pada biji kopi, dalam hal ini letupan tersebut ada dua tahap yakni letupan pertama (*first crack*) yang menandakan bahwa biji kopi sangrai mulai memasuki tingkat sangrai *light*. Dan letupan kedua (*second crack*) menandakan bahwa kopi sangrai sudah memasuki derajat sangrai *dark*. Proses sangrai dapat diakhiri berdasarkan selera konsumen. Jika kopi telah mencapai derajat sangrai yang diinginkan maka motor listrik dimatikan kopi sangrai harus segera dikeluarkan dari ruang silinder sangrai dan didinginkan dalam unit tempering yang dilengkapi dengan blower. Selama pendinginan biji kopi sangrai dibolak-balik secara manual agar proses pendinginan menjadi rata dan tidak terjadi pemanasan berlanjut (*over roasted*) dan warna biji kopi menjadi hitam (Mulato *et al.*, 2006:60).

5.2 Uji Fungsional Mesin Sangrai Tipe Rotari

Penelitian Rancang Bangun Mesin Penyangrai Kopi Tipe Rotari telah menghasilkan prototipe mesin yang ditunjukkan pada Gambar 5.2. Selanjutnya dilakukan uji ini untuk mengetahui apakah masing-masing komponen alat dan mesin telah berfungsi sesuai fungsinya atau belum. Jika belum maka perbaikan perlu dilakukan pada komponen yang belum berfungsi sampai keseluruhan komponen berfungsi dengan baik.



Gambar 5.2 Mesin penyangrai kopi tipe rotari

Berdasarkan uji fungsional, komponen-komponen mesin penyangrai kopi tipe rotari yang terdiri atas ruang sangrai, kompor bertekanan, motor listrik, *speed reducer*, rumah sangrai, unit tempering, dan rangka dapat berfungsi dengan baik. Adapun fungsi

masing-masing komponen tersebut dijelaskan berikut ini.

a. Ruang sangrai

Ruang sangrai berfungsi untuk tempat kopi selama proses penyangraian berlangsung. Dalam ruang ini terjadi proses pindah panas dari dinding ruang sangrai ke kopi dan pindah massa dari dalam kopi. Bagian dalam ruang sangrai dilengkapi dengan dua alur sehingga pada saat ruang sangrai diputar kopi yang disangrai dapat diaduk secara merata dan menghasilkan kopi sangrai yang seragam. Ruang sangrai juga dilengkapi bukaan untuk memasukan dan mengeluarkan kopi yang telah tersangrai. Ruang sangria ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Ruang sangrai

b. Burner

Burner berfungsi untuk menyediakan energy untuk penyangraian kopi. Dalam kompor ini terjadi proses pembakaran bahan bakar (LPG) sehingga menghasilkan sejumlah energy yang digunakan untuk memanaskan ruang sangrai baik melalui mekanisme radiasi maupun konveksi. Burner ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Burner

c. Motor listrik

Motor listrik berfungsi menggerakkan ruang sangrai pada saat penyangraian. Motor listrik ini menggantikan tenaga manusia dalam proses pembalikkan kopi agar didapatkan hasil sangrai yang seragam. Motor listrik ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Motor listrik

d. Speed reducer

Speed reducer berfungsi untuk menurunkan rpm yang dihasilkan dari motor listrik, sehingga diperoleh rpm yang sesuai untuk memutar ruang sangrai. Rpm yang terlalu tinggi menyebabkan kontak antara kopi dan ruang sangrai sangat singkat akibatnya proses pindah panas konduksi antara kopi dan ruang sangrai menjadi lambat sehingga proses penyangraian menjadi lebih lama. Speed reducer ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Speed reducer

e. Rumah sangrai

Rumah sangrai berfungsi untuk mencegah kehilangan panas. Selain memanaskan ruang sangrai, panas dari nyala api hasil pembakaran LPG sebagian akan hilang ke lingkungan melalui mekanisme radiasi dan konveksi. Adanya rumah sangrai akan membatasi kontak dengan udara luar. Selain itu radiasi ke lingkungan dicegah, radiasi akan mengenai rumah sangrai dan panas akan digunakan untuk memanaskan ruang sangrai. Rumah sangrai ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Rumah sangrai

f. Unit tempering

Unit tempering berfungsi untuk mendinginkan kopi segera setelah proses penyangraian. Kopi yang keluar dari ruang sangrai memiliki suhu sekitar 180 °C, Jika suhu kopi tidak segera diturunkan proses-proses kimia yang terjadi selama penyangraian akan terus berlangsung dan akan merubah cita rasa kopi. Unit tempering merupakan bak dengan alas logam berpori dan dilengkapi dengan blower. Unit tempering ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Unit tempering

g. Rangka

Rangka berfungsi untuk menopang komponen-komponen mesin penyangrai kopi. Selain itu juga harus mampu menahan gaya yang terjadi akibat pembebanan ataupun penyaluran tenaga melalui poros yang terdapat pada mesin penyangrai. Selama proses penyangraian rangka tersebut harus statis dan mudah dipindahkan. Rangka ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Rangka

5.3 Uji Kinerja Mesin Sangrai Tipe Rotari

Tahap selanjutnya peneliti telah menguji unjuk kerja alat dan mesin yang telah lulus uji fungsional. Uji ini untuk mengetahui kesesuaian mesin dengan SNI 7465_2008 tentang mesin sangrai kopi dan kakao tipe silinder datar berputar, syarat mutu dan cara uji. Jika unjuk kerja alat dan mesin masih rendah maka perlu ada perbaikan atau

modifikasi untuk memperoleh unjuk kerja yang bagus. Tabel 5.1 menunjukkan persyaratan unjuk kerja mesin sangrai kopi dan kakao tipe silinder datar berputar.

Tabel 5.1 Persyaratan unjuk kerja mesin sangrai kopi dan kako tipe silinder datar berputar

Parameter	Satuan	persyaratan	
		Kopi	kakao
Kadar air bahan pascasangrai	%	3	3
Keragaman kadar air bahan maksimum	%	0.5	0.5
Suhu penyangraian	°C	180-205	140-150
Laju penyangraian	%/jam	12-18	6-9
Kontaminasi asap	-	Tidak ada	Tidak ada
Kebisingan maksimal	dB	90	

Sumber : SNI 7465_2008

Adapun hasil pengujian unjuk kerja mesin penyangrai kopi tipe rotari ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Unjuk kerja mesin penyangrai kopi tipe rotari

Parameter	Satuan	persyaratan SNI	
		Kopi	hasil uji alat
Kadar air bahan pascasangrai	%	3	3
Keseragaman kadar air bahan maksimum	%	0,5	0,21
Suhu penyangraian	°C	180-205	160-180
Laju penyangraian	%/jam	12-18	9,66 – 15,26
Kontaminasi asap	-	Tidak ada	Tidak ada
Kebisingan maksimal	dB	90	84,7 – 88,7

Berdasarkan Tabel 5.2 dapat diketahui bahwa mesin penyangrai kopi tipe rotary telah memenuhi SNI 7465_2008. Mesin mampu menghasilkan kopi sangrai dengan kadar air 3%bb. Nilai kadar air tersebut biasanya dimiliki kopi dengan derajat sangrai sedang. Hasil sangrai seragam ditunjukkan dengan keseragaman kadar air maksimum 0,21%. Hal ini berarti proses penyangrai berlangsung secara merata karena pembalikan kopi terjadi secara terus menerus dengan mekanisme pemutaran ruang sangrai dan adanya dua bilah pelat yang membantu proses pembalikan. Suhu sangrai berdasarkan SNI dapat terpenuhi oleh mesin dengan mengatur laju aliran bahan bakar pada kran bahan bakar. Laju penyangraian ditunjukkan dengan perubahan persen kadar air

terhadap waktu penyangraian. Laju penyangraian yang diperoleh telah memenuhi SNI yaitu 9,66 – 15,26%/jam. Kontaminasi asap tidak ada karena kopi diletakkan dalam ruang tertutup dalam ruang sangrai sehingga tidak ada kontak antara kopi dan asap. Asap hasil pembakaran mengenai permukaan ruang sangrai bagian luar. Pada saat beroperasi mesin sangrai terdengar suara yang berasal dari motor listrik pemutar silinder dan juga system transmisi daya rantai. Pada proses penyangrai, keberadaan kopi dalam silinder yang diputar juga menimbulkan suara akibat gesekan kopi dengan dinding sangrai dan tumbukan kopi dengan kopi. Dari hasil pengukuran kebisingan dengan soundlevelmeter, tingkat kebisingan mesin masih lebih rendah dari SNI yaitu 84,7 – 88,7 dB.

Berdasarkan hasil sangrai untuk mengetahui tingkat kematangan sangrai dapat ditandai dengan adanya bunyi dua kali tahapan letupan pada biji kopi sangrai. Letupan 1 yang berarti masih belum matang sedangkan letupan 2 menandakan bahwa kopi hasil sangrai sudah selesai dan kopi hasil sangrai harus segera dikeluarkan dan didinginkan. Oleh karena itu untuk mengetahui nilai kadar air sudah tercapai berdasarkan SNI 7465:2008 yaitu 3 %, maka dilakukan pengambilan sampel dan diukur dengan metode thermogravimetri. Pada suhu 160 °C tingkat kadar air tercapai dengan waktu sangrai selama 70 menit, dan penyangraian menggunakan suhu 170 °C tingkat kadar air tercapai dengan waktu sangrai selama lama 60 menit, sedangkan penyangraian menggunakan suhu 180 °C tingkat kadar air tercapai dengan waktu sangrai selama 40 menit.

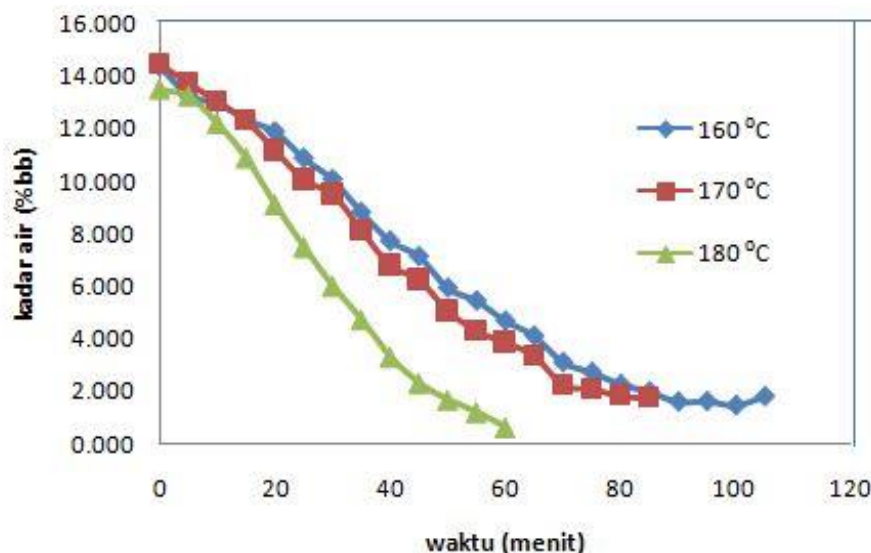
5.3.1 Kadar Air

Kadar air bahan merupakan banyaknya air yang terkandung persatuan massa bahan. Kopi selama proses penyangraian berlangsung mengalami penurunan kadar air. Pada penelitian ini pengukuran kadar air bahan menggunakan metode oven dengan perhitungan kadar air bahan menggunakan basis basah. Kopi dengan kadar air awal kopi 14,35 %bb, setelah disangrai dengan menggunakan suhu 160 °C kadar air bahan setelah disangrai selama 20 menit menjadi 11,86 %bb, 40 menit menjadi 7,70 %bb, dan 60 menit menjadi 4,66 %bb. Kopi dengan kadar air awal kopi 14,47 %bb, setelah disangrai dengan menggunakan suhu 170 °C kadar air bahan setelah disangrai selama 20 menit menjadi 10,85 %bb, 40 menit menjadi 6,11 %bb, dan 60 menit menjadi 2,78 %bb. Adapun kopi dengan kadar air awal 13,48 %bb, setelah disangrai pada suhu 180 °C, kadar air bahan setelah disangrai selama 20 menit menjadi 9,09 %bb, selama 40 menit menjadi 3,30 %bb, dan selama 60 menit menjadi 0,63 %bb. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa suhu dan lama penyangraian sangat berpengaruh terhadap besarnya kadar air yang terkandung dalam bahan.

Besarnya kadar air pada perlakuan suhu berbeda dan waktu yang sama, nilainya berbeda. Hal ini disebabkan karena banyaknya kandungan air yang teruapkan berbeda. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka energi yang diterima juga akan semakin besar sehingga proses penyangraian juga semakin cepat. Pada tahap awal energy tersebut digunakan untuk menaikkan suhu bahan sampai mencapai suhu ruang sangrai. Selanjutnya energy akan digunakan untuk menguapkan air dalam bahan sehingga terjadi penurunan kadar air bahan. Berikutnya energy akan digunakan untuk proses pirolisis yang ditandai dengan perubahan warna biji kopi menjadi coklat.

Hubungan kadar air terhadap waktu sangrai pada penyangraian kopi robusta berbanding terbalik yakni semakin lama waktu penyangraian maka kadar air dalam bahan akan semakin berkurang. Hubungan waktu penyangraian dan kadar air ditunjukkan pada Gambar 5.10. Pada awal proses penyangraian penurunan kadar air dalam bahan relatif cepat. Hal ini dikarenakan banyaknya kandungan air dalam bahan merupakan air bebas yang mudah menguap. Memasuki menit-menit akhir penyangraian penguapan kadar air dalam bahan berlangsung lambat. Hal ini disebabkan karena air dalam bahan semakin sedikit dan keberadaannya terikat secara kimia sehingga untuk menguapkan air tersebut dibutuhkan energi yang besar.



Gambar 5.10 Hubungan waktu penyangraian dan kadar air bahan.

5.3.2 Keseragaman Kadar Air maksimal

Keseragaman kadar air ditentukan dari kadar air bahan setelah proses penyangraian yakni sekitar 3% berdasarkan SNI 7465:2008. Tabel 5.3 menunjukkan suhu penyangraian, lama penyangraian dan tingkat kadar air yang dicapai dengan standard deviasinya. Hasil standard deviasinya menunjukkan tingkat keseragaman kadar air bahan hasil sangrai.

Tabel 5.3 Keseragaman kadar air bahan hasil sangrai

waktu sangrai (menit)	suhu (°C)	kadar air (% bb)				rata-rata(%bb)	std (%)
		p1 (%)	p2 (%)	p3 (%)	p4 (%)		
70	160	2,80	3,21	3,04	3,28	3,08	0,21
60	170	2,79	2,85	3,00	2,50	2,78	0,21
40	180	2,85	3,06	3,19	3,08	3,05	0,14

P_x= Pengukuran ke-_x = 1,2,3,4

Berdasarkan tabel hasil analisis perhitungan keseragaman kadar air berdasarkan SNI 7465:2008, tingkat keseragaman kadar air pasca sangrai pada suhu sangrai 160 °C adalah sebesar 0,21 %bb dengan waktu sangrai selama 70 menit. Tingkat keseragaman kadar air pasca sangrai 170 °C adalah sebesar 0,21 %bb dengan waktu sangrai selama 60 menit. Tingkat keseragaman kadar air pasca sangrai pada suhu sangrai 180 °C adalah sebesar 0,14 %bb dengan waktu sangrai selama 40 menit. Berdasarkan SNI 7465:2008 tingkat keseragaman kadar air akhir pasca sangrai pada ketiga penggunaan suhu tidak melebihi dari standart yang sudah ditetapkan yakni 0,5 %, dan sudah memenuhi syarat uji, sehingga mesin sangrai sudah memenuhi syarat ditinjau dari tingkat keseragaman kadar air bahan pasca sangrai. Berdasarkan fakta tersebut dapat disimpulkan bahwa penyangraian menggunakan mesin sangrai tipe silinder horizontal berlangsung merata.

5.3.3 Laju Penyangraian

Hasil penelitian pada proses uji sangrai kopi jenis robusta menggunakan mesin sangrai kopi tipe silinder horizontal diperoleh kadar air awal dan kadar air akhir bahan, sehingga dapat diketahui jumlah air yang diuapkan pada waktu tertentu. Pada Tabel 5.4 kandungan air yang teruapkan berbeda-beda berdasarkan perlakuan suhu, jadi semakin tinggi suhu yang digunakan maka laju penguapannya semakin besar.

Laju penyangraian kopi robusta menggunakan mesin sangrai tipe silinder horizontal dipengaruhi oleh suhu sangrai. Laju penyangraian pada berbagai suhu ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Laju penyangraian kopi robusta menggunakan mesin sangrai tipe silinder horizontal

suhu sangrai (⁰ C)	KA awal	KA akhir	Waktu(jam)	laju penyangraian (%bb/jam)
160	14,35	3,08	1,17	9,66
170	14,47	2,78	1,00	11,69
180	13,22	3,05	0,67	15,26

Berdasarkan Tabel 5.4 penyangraian dengan menggunakan suhu 180 ⁰C laju panyangraiannya berlangsung lebih cepat daripada penyangraian menggunakan suhu 160 ⁰C dan 170 ⁰C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka laju penyangraian akan semakin cepat dan waktu sangrai semakin singkat begitu pula sebaliknya semakin rendah suhu yang digunakan maka laju penyangraian akan berlangsung lambat.

5.3.4 Suhu Ruang Penyangraian dan Waktu Pemanasan

Waktu pemanasan pada mesin sangrai sangat berpengaruh terhadap suhu yang ditimbulkan. Ruang silinder sangrai mendapatkan energi panas melalui dua media pindah panas. Pertama, pindah panas secara konveksi bebas, yaitu sumber panas yang bersinggungan langsung dengan dinding silinder sangrai. Kedua, pindah panas secara radiasi dari permukaan sumber panas yang bersuhu tinggi ke permukaan bawah dinding silinder. Energi panas tersebut kemudian merambat melewati dinding silinder bagian luar secara konduksi dan kemudian memanaskan ruangan di dalam silinder sangrai secara merata. Kenaikan suhu berbanding lurus terhadap waktu yakni semakin lama pemanasan maka suhu ruang sangrai akan bertambah panas.

Pada awal proses pemanasan suhu ruang sangrai meningkat cepat. Kenaikan suhu ruang sangrai yang cepat disebabkan karena pada awal pemanasan terdapat perbedaan suhu antara sumber panas dengan dinding silinder sangrai besar. Semakin lama pemanasan dan semakin kecil perbedaan suhu antara sumber panas dan dinding silinder sangrai maka kenaikan suhu silinder sangrai akan kecil, disebabkan laju pindah

panasnya lambat dan tingkat kehilangan panas ke lingkungan yang besar. Sehingga dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin lama pemanasan maka suhu ruang sangrai pada mesin sangrai kopi tipe silinder horizontal akan semakin tinggi dan kemudian konstan pada kondisi tertentu.

5.3.5 Efisiensi Penyangraian

Efisiensi penyangraian merupakan perbandingan antara banyaknya energi yang digunakan dengan energi yang tersedia. Efisiensi penyangraian menggunakan mesin sangrai tipe silinder horizontal dengan beberapa perlakuan suhu sangrai yakni penyangraian biji kopi jenis robusta menggunakan suhu 160 °C dengan efisiensi sebesar 12,313 %. Penyangraian biji kopi jenis robusta menggunakan suhu 170 °C dengan efisiensi sebesar 10,837 %. Sedangkan penyangraian biji kopi jenis robusta menggunakan suhu 180 °C dengan efisiensi sebesar 11,861 %. Hal ini disebabkan beberapa faktor yakni banyaknya panas yang keluar melalui cerobong dan dinding silinder sangria sehingga banyak energi panas yang terbuang.

5.3.6 Putaran Poros Motor dan Silinder sangrai

Kecepatan putar poros mesin sebelum dan sesudah ada bahan sangrai menunjukkan selisih yang sangat kecil. Pengukuran putaran poros mesin dan silinder sangrai ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Pengukuran putaran poros mesin dan silinder sangrai

komponen	putaran mesin(rpm)	
	Sebelum ada bahan	sesudah ada bahan
Mesin listrik	1457	1458
	1453	1458
	1462	1460
	1464	1463
rata-rata	1459	1460
silinder sangrai	24,6	24,6
	24,7	24,5
	25,1	24,3
rata-rata putaran	24,8	24,5

Putaran poros mesin menjadi kecil karena sebelum disalurkan ke silinder sangrai putaran mesin sebesar 1459 rpm diturunkan menggunakan *speed reducer* dengan rasio 1:20 sehingga kecepatan putar menjadi 72 rpm. Kecepatan putar kemudian diturunkan

lagi menggunakan *gear box* dengan perbandingan 14 : 41 sehingga putaran silinder sangrai menjadi 24,8 rpm. Putaran poros mesin dan silinder sangrai sebelum dan sesudah ada bahan memiliki selisih yang sangat kecil. Hal ini disebabkan penggunaan transmisi penyalur putaran menggunakan *gear* dan rantai sehingga tidak terjadi slip dalam penyaluran transmisi putaran dan dapat disimpulkan bahwa sebelum dan sesudah ada bahan tidak mempengaruhi kecepatan putar, baik pada poros mesin maupun silinder sangrai.

Penelitian alat penyangrai kopi mekanis tipe rotari (Ginting *et al.*, 2013:109) adalah desain alat sangrai yang digunakan untuk menyangrai biji kopi kering dengan menggunakan metode putaran, namun dalam penelitiannya menggunakan kecepatan putar sebesar 35,5 rpm. Pengukuran putaran poros motor dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Pengukuran putaran silinder sangrai

5.3.7 Tingkat kebisingan

Tingkat kebisingan merupakan suara yang dihasilkan oleh suatu alat yang sedang bekerja sehingga menghasilkan suara yang dapat mengganggu kenyamanan. Tingkat kebisingan dalam silinder sangrai sangat dipengaruhi oleh keberadaan bahan dalam ruang sangrai. Keberadaan bahan mempengaruhi tingkat kebisingan yang ditimbulkan saat mesin mulai dioperasikan.

Pengukuran kebisingan yang ditimbulkan mesin sangrai diukur ketika mesin sedang beroperasi. Tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh mesin sangrai biji kopi tipe silinder horizontal ini sebelum bahan dimasukkan adalah sebesar 83,5 db. Dan

setelah bahan dimasukkan kebisingan yang ditimbulkan adalah sebesar 84,7 db dan tingkat kebisingan semakin bertambah seiring dengan tingkat kematangan biji kopi sangrai.

Memasuki akhir proses penyangraian tingkat kebisingan dari alat sangrai adalah sebesar 88,7 db hal ini disebabkan karena kandungan kadar air yang terdapat pada bahan berkurang dan hal ini berpengaruh terhadap berat bahan. semakin ringan bahan sangrai maka benturan antara bahan dengan dinding sangrai semakin keras sehingga menimbulkan suara yang nyaring. Pengukuran tingkat kebisingan dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Pengukuran tingkat kebisingan mesin sangrai kopi tipe silinder horizontal.

5.3.8 Kebutuhan Energi Panas

Proses penyangraian kopi robusta pada penelitian ini terdapat dua jenis pindah yakni pindah panas secara konveksi yakni sumber panas memanasi udara disekitar silinder sangrai dan meneruskannya ke dalam silinder sangrai. Sedangkan pindah panas secara radiasi yakni perpindahan panas disebabkan radiasi baik tanpa melalui perantara maupun dengan perantara. Dalam hal ini radiasi dari bara api ke dinding silinder sangrai.

Proses penyangraian kopi terdapat dua jenis panas yang dibutuhkan yaitu panas sensible dan panas laten. Panas sensible merupakan panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu kopi menjadi suhu ruang sangrai. Sedangkan panas laten adalah panas yang dibutuhkan untuk merubah wujud air dalam biji kopi menjadi gas, sehingga air dalam kopi mengalami penguapan dan menyebabkan kandungan air dalam kopi berkurang. Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa kebutuhan panas sensibel dengan suhu sangrai 160 °C sebesar 1429,23 kJ, suhu sangrai 170 °C sebesar 1540,90 kJ, dan suhu sangrai 180 °C sebesar 1591,98 kJ. Sedangkan panas laten suhu sangrai 160

$^{\circ}\text{C}$ sebesar 44,904 kJ, suhu sangrai 170°C sebesar 44,886 kJ serta suhu sangrai 180°C sebesar 37,314 kJ.

5.3.9 Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan selama proses penyangraian berlangsung sehingga dapat dihitung cara mengurangi berat awal bahan bakar dikurangi dengan berat bahan bakar setelah kadar air kopi mencapai 3%. Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menyangrai kopi dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Konsumsi bahan bakar selama penyangraian

suhu ($^{\circ}\text{C}$)	waktu sangrai (menit)	konsumsi bahan bakar (kg)	laju konsumsi bahan bakar(kg/menit)
160	70	0,230	0,0033
170	60	0,317	0,0049
180	40	0,279	0,0070

Konsumsi bahan bakar pada setiap perlakuan berbeda. Kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada suhu 160°C adalah sebesar 0,230 kg dengan waktu sangrai 70 menit. Sedangkan Kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada suhu 170°C adalah sebesar 0,371 kg dengan waktu sangrai 65 menit. Serta kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada suhu 180°C adalah sebesar 0,279 kg dengan waktu sangrai 40 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan semakin banyak begitu pula sebaliknya.

5.4 Prosedur Operasi Standar Prototipe

Pengoperasian mesin penyangrai kopi tipe rotary sebaiknya dilakukan mengikuti tahapan sebagai berikut:

- Membuka kran bahan bakar
- Menyalakan burner dengan bantuan korek api
- Memanaskan ruang sangrai sampai kondisi yang diinginkan
- Memasukkan bahan yang disangrai dengan cara membuka rumah sangrai dan inlet
- Setelah bahan masuk, mengunci inlet dan menutup rumah sangrai dengan mengembalikan rumah sangrai pada posisi awal
- Menghidupkan motor listrik untuk memutar ruang sangrai

- g. Membiarkan bahan/kopi dalam ruang sangrai sampai tercapai derajat sangrai yang diinginkan.
- h. Mematikan motor listrik untuk menghentikan putaran ruang silinder
- i. Membuka rumah sangrai, outlet dan mengeluarkan kopi yang sudah tersangrai ke dalam unit tempering
- j. Menyalakan blower untuk membantu proses pendinginan biji kopi sambil dilakukan pembalikan secara manual.
- k. Pendinginan dapat diakhiri ketika suhu biji kopi sudah mencapai suhu lingkungan,
- l. Untuk keselamatan kerja harap menggunakan pakaian standar kerja, mengecek kondisi selang dan regulator gas, dan
- m. Untuk perawatan, setelah mesin penyangrai tidak digunakan maka ruang sangrai dibersihkan dari kotoran. Pemberian pelumas secara teratur pada poros-poros yang berputar.

5.5 Evaluasi

Semua komponen mesin penyangrai kopi tipe rotary dapat berfungsi dengan baik. Namun demikian ada sedikit kendala pada proses pemasukan dan pengeluaran bahan. Untuk memasukkan bahan perlu bantuan corong. Sedangkan untuk mengeluarkan bahan, sisi yang berlawanan dengan outlet diangkat agar posisi miring sehingga kopi dapat keluar secara tuntas. Pada saat penyangraian, suhu ruang sangrai yang tinggi menyebabkan pemuai. Efek dari pemuai tersebut pintu outlet kopi mengalami sedikit perengangan. Ketika ruang sangrai berputar kotoran biji kopi, kopi dengan ukuran kecil/pecahan biji kopi sebagian akan keluar melalui celah outlet. Permasalahan terletak pada sistem penguncian yang kurang tepat.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7. 1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. hasil rancangan mesin penyangrai kopi tipe rotary telah lolos uji fungsional dimana semua komponen penyusun mesin telah berfungsi sebagaimana mestinya,
2. hasil rancangan juga telah lolos uji unjuk kinerja dengan cara membandingkan dengan SNI. Mesin penyangrai memiliki kinerja minimal yang dipersyaratkan,
3. prosedur operasi standard telah dibuat sebagai panduan bagi user dalam pengoperasian secara tepat, aman dan nyaman, serta perawatan mesin penyangrai,
4. evaluasi dari user terhadap pengoperasian mesin penyangrai yaitu pada sisi inlet dan outlet kopi yang masih perlu sedikit modifikasi dengan penambahan corong.

Hasil Tahun ke-1:

1. Desain mesin penyangrai kopi tipe rotari meliputi:
 - a. Ruang sangrai
 - b. Kompor bertekanan
 - c. Motor listrik
 - d. Speed reducer
 - e. Rumah sangrai
 - f. Unit tempering
 - g. Rangka

Hasil tahun ke-2:

1. Hasil uji fungsional, semua komponen dapat berfungsi dengan baik
2. Hasil uji unjuk kerja mesin sangrai telah memenuhi SNI 7465_2008
3. Pemakalah dalam seminar internasional IC-FANRes2015

7.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian terhadap beberapa parameter mesin sangrai kopi tipe silinder horizontal sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 7465 : 2008), namun perlu modifikasi terutama pada bagian input dan output kopi.

DAFTAR PUSTAKA

- Clarke, R.J. (1985). Water and mineral contents. p. 42-82. In: R.J. Clarke & R. Macrae (Eds.). coffee. Voil. I. Elsevier Applied Science. London.
- Clifford, M.N. (1985). Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. p. 305-374. In: M.N. Clifford and K.C. Wilson (Eds.). Botany, Biochemistry and production of Beans and Beverage. The AVI Publishing Co. inc., Connecticut.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 1999. *Statistik Perkebunan Indonesia (kopi)1992-1995*. 101 p.
- Illy, A. & R. Viani (1995). Espresso Coffee: The Chemistry of quality. Academic Press Limited, London, San Diego.
- Illy, A., & Viani, R. (1998). Espresso Coffee. Academic press, San Diego, CA 92101, U.S.
- Ineed Coffee.com (2004). INeedCoffee Roast Color Chart; Michael Allen Smith. Copyright© 1999-2004 INeedCoffee is a project of Digital Colony.
- Ineedcoffee.com (2004). A World of Flavor; Scofield, A. Copyright© 1999-2004 INeedCoffee is a project of Digital Colony.
- Hernández Pérez, José Alfredo (2002). Étude de la torréfaction: modélisation et détermination du degré de torréfaction du café en temps réel. Ph. D. Thesis in École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. France.
- Hernández, J. A., Heyd, B., Irls, C., Valdovinos, B., & Trystram G. (2007a). Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. *Journal of Food Engineering*. 78, 1141-1148.
- Hernández, J. A., Heyd, B & Trystram, G. (2007b). On-line quality estimation during coffee roasting: Part I---color (gray) and surface kinetics. *Journal of Food Engineering*.
- Mulato, S., S. Widyotomo & E. Suharyanto (2006). *Teknologi Proses dan Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kopi*. Puslitkoka.
- Nagaraju, V. D., Murthy, C. T., Ramalakshmi, K., & Srinivasa, R. P. N. (1997). Studies on roasting of coffee beans in a spouted bed. *Journal of Food Engineering*, 31, 263-270.
- Pintauro, N. (1969). *Soluble Coffee: Manufacturing Processes*. Noyes Development Corporation, Park Ridge, New Jersey, USA
- Raemy, A. (1981). Differential thermal analysis and heat flow calorimetry of coffee and chicory products. *Thermochimica Acta*, 43, 229-236.

- Raemy, A., & Lambelet, P. (1982). A calorimetric study of self-heating in coffee and chicory. *Journal of Food Technology*, 17, 451-460.
- Schwartzberg, H. G. (2000). Modelling bean heating during batch roasting of coffee beans. In *Engineering and Food for the 21st Century*, edited by J. Welti-Chanes, G. Barbosa-Canovas, JM Aguilera, CRC Press LLC, London, New York, Boca Raton.
- Singh, P., Singh, R., Bhamidipati, S., Singh, S., & Barone, P. (1997). Thermophysical properties of fresh and roasted coffee powders. *Journal of Food Process Engineering*, 20, 31-50.
- Sivetz, M. & H.E. Foote, (1963). *Coffee Processing Technology*. The Avi Publishing Company Inc.
- Sivetz, M and N.W. Desrosier. 1979. *Coffee Technology*. The AVI Publ. Inc., Connecticut.
- Sulistiyowati; B. Sumartono & C. Ismiyadi (1996). Pengaruh ukuran biji dan lama penyangraian terhadap beberapa sifat fisiko-kimia dan organoleptic kopi Robusta. *Pelita Perkebunan*, 12, 48-60
- Sweet-Maria.com (2004). Carl Staub, Basic Chemical Reactions Occuring in the Roasting Process. The SCAA Roast Color Classification System developed by Agron-SCAA in 1995
- Sweet-Maria.com (2004b). Antique coffee roaster. 1p.
- Sweet-Maria.com (2004d). The HotTop Electric Drum Coffee Roaster. 1p.
- The Tartan Bean Coffee Company (2004). The Tartan Bean Coffee Company Unit 2, Fife Food Base Southfield Industrial Estate. Glenrothes, KY6 2RU Fife, Scotland. 1p.
- USDA (2000). Tropical product: *World markets and trade*, Circular series-USDA, June, 37p.
- Yusianto (2003). Karakter fisik dan cita rasa kopi hasil penyangraian system pemanasan langsung (Physical and flavor charahters of coffee roasted by direct firing system). *Pelita Perkebunan*, Vol. 19 No. 3.
- Pujitanto, **Aris Wibawa**, Winaryo, 2001, “*Pengaruh Teras dan Tanaman Penguat Teras Terhadap Erosi dan Produktivitas Kopi Arabika*” *Pelita Perkebunan* 2001, 17(91), 18-29, Jurnal Penelitian Kopi dan kakao, Pusat Penelitian Kopi dan kakao Indonesia, Jember, Indonesia.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Chich-ester, UK.
- Sapei. T, Suganda., A.H., Astadiredja., K.A.S., dan Suharsono, 1992, *Geologi Lembar Jember. Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sawiyono, 2005: “*Manfaat Pengembangan Dam Parit Untuk Pengendalian Banjir Dan*

- Kekeringan Study Kasus Sub Das Cibogo, Das Ciliwung, Bogor*” Publikasi hasil Penelitian Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor.
- Sumarjo Gatot I, J Duchesne, F Forest, P.Perez,C.Cudennec, T.Prasetyo, S Karama 2001, “ *Rainfall-Runoff Harvesting for Controlling Erosion and Sustaining Upland Agricultural Development*” Selected papers from the 10Th International Soil Conservation Organization
- Vijay K. Gang and Joseph K. Wilkes, 1999, “*Principles & Application of GSM*”, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series.
- Will Critchley, Klaus Siegert, C.Chapman, 1991; “*Water Harvesting*” A manual for Design and Construction, Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome, Italy.
- Winaryo, Pujiyanto, **Aris Wibowo**, 1999,” *Pengaruh Teras dan Pemupukan Kopi Arabika Terhadap Kualitas Air Limpasan*”, Pelita Perkebunan 1999, 15(3), 175-187, Jurnal Penelitian Kopi dan kakao, Pusat Penelitian Kopi dan kakao Indonesia, Jember, Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Artikel Ilmiah

Lampiran 2. Produk penelitian

