ANALISIS KINERJA PROTOTIPE ALAT PENYULINGAN UNTUK INDUSTRI KECIL MINYAK JERUK PAMELO *(Citrus maxima Merr.)*

SKRIPSI

Eghi Anugrah Ihwan
13 22 060 457

PROGRAM STUDI D-IV AGROINDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERIKANAN
POLITEKNIK PERTANIAN NEGERI PANGKEP
2017

ANALISIS KINERJA PROTOTIPE ALAT PENYULINGAN UNTUK INDUSTRI KECIL MINYAK JERUK PAMELO *(Citrus maxima Merr.)*

EGHI ANUGRAH IHWAN

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Terapan
Pada
Program Studi Agroindustri

PROGRAM STUDI AGROINDUSTRI SARJANA TERAPAN
JURUSAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERIKANAN
POLITEKNIK PERTANIAN NEGERI PANGKEP
2017

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA PROTOTIPE ALAT PENYULINGAN UNTUK INDUSTRI KECIL MINYAK JERUK PAMELO *(Citrus maxima Merr.)*

SKRIPSI

EGHI ANUGRAH IHWAN
13 22 060 457

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing I	*Pembimbing II*
Dr. Andi Ridwan Makkulau, SP., M. Sc.	Ir. Mursida, M. Si.
NIP.19750626 200112 1 001	NIP. 19640312 199903 1 003

Diketahui Oleh:

Ketua Jurusan	Ketua Program Studi
Ir. Nurlaeli Fattah, M. Si.	Zulfitriany D.M., SP. MP.
NIP. 19680807 199512 2 001	NIP. 19760810 200912 2 001

Direktur

Dr. Ir. H. Darmawan, MP
NIP. 19670202 199803 1 002

HALAMAN PERSETUJUAN PENGUJI

Judul	: Analisis Kinerja Prototipe Alat Penyulingan Untuk Industri Kecil Minyak Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)*
Nama Mahasiswa	: Eghi Anugrah Ihwan
NIM	: 13 22 060 457
Program Studi	: Agroindustri Diploma IV
Tanggal Lulus	: 30 Agustus 2017

Disahkan Oleh:

Tim Penguji

1. Dr. Andi Ridwan Makkulau, SP., M. Sc. (.....)
2. Ir. Mursida, M. Si. (.....)
3. Rahmawati Saleh, S.Si., M.Si (.....)
4. Nur Fitriani UA, S.Pt., M.Si (.....)

PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Analisis Kinerja Prototipe Alat Penyulingan Untuk Industri Kecil Minyak Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah dituliskan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari tugas akhir saya kepada Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.

Pangkep, Agustus 2017

Eghi anugrah ihwan

13 22 060 457

RINGKASAN

EGHI ANUGRAH IHWAN. 13 22 060 457. Analisis Kinerja Prototipe Alat Penyulingan Untuk Industri Kecil Minyak Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)*. Dibimbing oleh Andi Ridwan Makkulau dan Mursida

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Menganalisis kinerja prototipe peralatan penyulingan skala industri kecil minyak jeruk pamelo, menganalisis efisiensi energi prototipe peralatan penyulingan skala industri kecil minyak jeruk pamelo serta membandingkan efisiensi energi penyulingan sistem non kohobasi dengan penggunaan dandan biasa dan dandan modifikasi. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu (1) pengambilan bahan baku, (2) pemisahan *flavedo* dengan *albedo*, (3) pengeringan bahan baku, (4) perakitan alat, (5) penyulingan kulit jeruk, (6) pengambilan data, (7) perhitungan.

Variabel dari bahan baku limbah kulit jeruk pamelo ini berasal dari flavedo jeruk yang di timbang sebanyak 15 kg bahan basah dan sebanyak 15 kg bahan basah kemudian di keringkan untuk bahan kering dengan ukuran bahan 5-7 cm, suhu dan waktu yang digunakan selama proses destilasi 104 ^{o}C selama 8, 9 dan 10 jam sebagai waktu kontrol yakni 7 jam dengan metode penyulingan dengan air dan uap.

Parameter yang diukur selama penyulingan yakni lama penyulingan, bobot bahan sebelum penyulingan, volume dan bobot minyak atsiri hasil penyulingan, komsumsi bahan bakar, suhu udara lingkungan, suhu air pendingin yang masuk dan keluar, suhu ketel suling, suhu tutup ketel, suhu pipa penghubung serta hasil destilat.

Penelitian ini menghitung rendemen minyak atsiri yang dihasilkan dan menghitung efesiensi energi dengan penggunaan alat penyulingan non kohobasi menggunakan perbandingan dandan biasa (basis basah), dandan modifikasi (basis kering), dandan biasa (basis kering) dan dandan modifikasi (basis basah), serta menghitung energi yang tidak digunakan dan mengitung efesiensi ketel suling. Rendemen hasil minyak pada proses penyulingan yang dilakukan berada pada jam ke-10 sebanyak 0,108 % menggunakan dandang modifikasi (basis kering) sedangkan rendemen hasil minyak yang terendah berada pada jam ke-8 sebanyak 0,018 % menggunakan dandang biasa (basis basah).

Berdasarkan hasil analisa didapatkan energi rata-rata yang digunakan dalam mengubah air menjadi uap sebesar 1952,03 MJ dan energi rata - rata yang dihasilkan bahan bakar adalah 3077,30 MJ. Maka dengan perbandingan antara energi penguapan air dengan energi bahan bakar menghasilkan efesiensi ketel suling rata – rata sebesar 63,43 %.

Kata Kunci: Jeruk Pamelo, Rendemen, Analisis kinerja, Penyulingan, Minyak Atsiri.

SUMMARY

EGHI ANUGRAH IHWAN. 13 22 060 457. Performance analysis Prototype Tools For Refining Industrial Oil Orange Pamelo *(Citrus maxima Merr.)*. Supervisors: by Andi Ridwan Makkulau and Mursida.

The purpose of this research is to analyze the performance of the prototype of a small industrial-scale distillation equipment Orange oil pamelo, analyzing energy efficiency equipment prototype small industrial scale oil refining citrus pamelo and comparing the energy efficiency of distillation system non kohobasi with use of regular grooming and grooming modifications. This research consists of several stages, namely (1) the taking of raw materials, (2) the separation of the flavedo with albedo, (3) drying of raw materials, (4) Assembly tool, (5) the distillation of orange peel, (6) data capture, (7) calculation.

Variable from the raw material of this orange pamelo leather comes from flavedo orange which weigh as much as 15 kg of wet material and as much as 15 kg of wet material then dried for dry material with material size 5-7 cm, temperature and time used during distillation process 104 ^{O}C for 8, 9 and 10 hours as a control time of 7 hours by distillation method with water and steam.

The parameters measured during the distillation are distillation length, material weight before distillation, volume and weight of distillation oil, fuel consumption, ambient air temperature, inlet and outer cooling water temperature, distillation kettle temperature, kettle temperature, Distillate results.

This study calculated the yield of essential oils produced and calculated energy efficiency by using non-kohobasi distillation apparatus using the comparison of the usual grooming (wet base), the modification (dry base), the usual grooming (dry base) and the modification bundle (wet base) Unused energy and counting the efficiency of the kettle. The yield of oil in the distillation process was conducted at the 10th hour of 0.108% using the modified cage (dry base) while the lowest yield of oil was at the 8th hour of 0.018% using the regular cage (wet basis).

Based on the results of the analysis, the average energy used in converting water to steam is 1952.03 MJ and the average energy produced by fuel is 3077.30 MJ. So by comparison between evaporation energy of water with fuel energy yield efficiency of kettle distilled average - equal to 63,43%.

Keywords: Pamelo Citrus, Rendement, Performance Analysis, Distillation, Essential Oil.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul " Analisis Kinerja Efesiensi Energi Prototipe Alat Penyulingan Untuk Industri Kecil Minyak Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)*". Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW.

Skripsi disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Agroindustri di Politeknik Pertanian Negeri Pangkep. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ayahanda H. Ihwan dan Ibunda Hj. Dahrisma serta segenap keluarga yang telah memberikan bantual moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Andi Ridwan Makkulau, SP., M. Sc. selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Ir. Mursida, M. Si. selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Dr. Ir. Darmawan, MP, selaku direktur Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.
4. Ibu Ir. Nurlaeli Fattah, M.Si selaku ketua jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan.
5. Ibu Zulfitriany Dwiyanti Mustaka, SP. MP selaku ketua program studi Agroindustri.
6. Ibu Dr. Ir. Sitti Nurmiah, M.Si selaku Penasehat Akademik.
7. Dosen beserta Staf Akademik Program Studi Agroindustri Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.
8. Teknisi Workshop Agroindustri Muh. Ashar A.Md. dan Sitti Muryana A.Md.
9. Seluruh sahabat-sahabat pendopo Arham, Firman, Egis, Accang, Agoenk, Ade, Irwan, " Terima kasih atas kebersamaan dan bantuannya selama ini ".
10. Erwin Adri " Terima kasih atas bantuan kepada penulis dalam menyusun skripsi"
11. Helvi cahyani anugrah yang selalu membantu dalam menyelesaikan skripsi penulis.

12. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Prodi Agroindustri angkatan XXVI atas kebersamaan, kerjasama, dan dukungan selama penulis melaksanakan pendidikan di Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna maka dari itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan kedepannya. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat kepada masyarakat secara umum dan kepada penulis secara khusus.

Pangkep, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL ..... **i**

HALAMAN JUDUL ..... **ii**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**

HALAMAN PERSETUJUAN PENGUJI ..... **iv**

PERNYATAAN TUGAS AKHIR ..... **v**

RINGKASAN ..... **vi**

SUMMARY ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Tujuan 2

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tumbuhan Buah Jeruk Bali *(Citrus maxima Merr.)* 3

2.2. Metode Pembuatan Minyak Atsiri 12

2.3. Prototipe Alat Penyulingan Dengan Air Dan Uap 16

2.4. Kehilangan Energi Pada Proses Penyulingan 21

III. METODOLOGI

3.1. Waktu dan Tempat 24

3.2. Alat dan Bahan 24

3.3. Metode Penelitian 24

3.4. Penyulingan Minyak Kulit Jeruk 25

3.5. Perhitungan Rendemen 28

3.6. Parameter Yang Diukur 28

3.7. Analisis Efesiensi Energi Peralatan Penyulingan 29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rendemen Minyak Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)* 36

4.2. Kinerja Alat Penyulingan 41

4.3. Efesiensi Energi 45

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan 51

5.2. Saran 51

DAFTAR PUSTAKA 52

LAMPIRAN 53

RIWAYAT HIDUP 75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Vitamin Dan Zat Mineral Lainnya
Setiap 100 Gram Buah Jeruk..... 6
Tabel 2. Metode Penyulingan 25
Tabel 3. Jumlah Minyak Tersuling 36
Tabel 4. Penyulingan Basah Dandang Biasa..... 37
Tabel 5. Penyulingan Basah Dandang Modifikasi..... 37
Tabel 6. Penyulingan Kering Dandang Biasa 38
Table 7. Penyulingan Kering Dandang Modifikasi..... 39
Tabel 8. Jumlah Hasil Destilat Selama Penyulingan. 43
Tabel 9. Suhu Rata-Rata Alat Penyulingan..... 46
Tabel 10. Perbandingan Kehilangan Energi Alat Penyulingan..... 48
Table 11. Luas Permukaan Pindah Panas Alat Penyulingan..... 49
Tabel 12. Perbandingan Efesiensi Ketel 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komposisi Kimia Pada Jeruk Pamelo *(Citrus maxima Merr.)* 5
Gambar 2. Penampang Melintang Buah Jeruk Bali..... 6
Gambar 3. Penomoran Flavonoid 8
Gambar 4. Kerangka Dasar Senyawa Flavonoida 10
Gambar 5. Prototipe Ketel Suling..... 17
Gambar 6. Dandang Biasa 18
Gambar 7. Dandang Modifikasi 18
Gambar 8. Kondensor 19
Gambar 9. Alat Dan Proses Penyulingan Sistem Air Dan Uap 26
Gambar 10. Diagram Alir Proses Penyulingan Minyak Atsiri Kulit Jeruk Besar 27
Gambar 11. Diagram Hasil Penyulingan Per Jam (Bb) 37
Gambar 12. Diagram Hasil Penyulingan Per Jam (Bm)..... 38
Gambar 13. Diagram Hasil Penyulingan Per Jam (Kb)..... 38
Gambar 14. Diagram Hasil Penyulingan Per Jam (Km)..... 39
Gambar 15. Grafik Profil Minyak Hasil Penyulingan 40
Gambar 16. Laju Destilat Pada Setiap Penyulingan..... 44
Gambar 17. Perbandingan Suhu Di Kondensor Pada Setiap Penyulingan 45
Gambar 18. Kehilangan Panas Dinding Ketel Secara Konveksi 46
Gambar 19. Kehilangan Panas Tutup Ketel Secara Konveksi 47
Gambar 20. Kehilangan Panas Pipa Penghubung Ketel Dengan Kondensor Secara Konveksi 47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penyulingan 54
Lampiran 2. Data Kehilangan Energi Secara Konveksi..... 56
Lampiran 3. Suhu Air Pendingin 68
Lampiran 4. Efesiensi Energi..... 69
Lampiran 5. Gambar Minyak Hasil Penyulingan 73
Lampiran 6. Gambar Alat Penyulingan Prototipe..... 74

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak atsiri atau yang disebut juga dengan *essential oils, etherial oils*, atau *volatile oils* adalah salah satu komoditi yang memiliki potensi besar di Indonesia. Minyak atsiri adalah ekstrak alami dari jenis tumbuhan tertentu, baik berasal dari daun, bunga, kayu, biji-bijian bahkan putik bunga. Setidaknya ada 70 jenis minyak atsiri yang selama ini diperdagangkan di pasar internasional dan 40 jenis di antaranya dapat diproduksi di Indonesia (Lutony, Rahmayati, 2000). Meskipun banyak jenis minyak atsiri yang bisa diproduksi di Indonesia, baru sebagian kecil jenis minyak atsiri yang telah diusahakan di Indonesia.

Kegunaan minyak atsiri sangat banyak, tergantung dari jenis tumbuhan yang diambil hasil sulingnya. Minyak atsiri ini digunakan sebagai bahan baku minyak wangi, komestik dan obat-obatan. Minyak atsiri juga digunakan sebagai kandungan dalam bumbu maupun pewangi (flavour and fragrance ingredients). Industri komestik dan minyak wangi menggunakan minyak atsiri sebagai bahan pembuatan sabun, pasta gigi, samphoo, lotion dan parfum. Industri makanan menggunakan minyak atsiri sebagai penyedap atau penambah cita rasa. Industri farmasi menggunakannya sebagai obat anti nyeri, anti infeksi, pembunuh bakteri. Fungsi minyak atsiri sebagai wewangian juga digunakan untuk menutupi bau tak sedap bahan-bahan lain seperti obat pembasmi serangga yang diperlukan oleh industri bahan pengawet dan bahan insektisida.

Industri ini biasanya terletak di daerah pedesaan. Ada beberapa daerah di Indonesia yang menjadi sentra industri minyak atsiri, misalnya Daerah istimewa Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Timur, Daerah Istimewa Yogyakarta, Sulawesi, Maluku dan Nusa Tenggara Timur. Dari beberapa jenis minyak atsiri yang dapat diproduksi di Indonesia sebagian besarnya diekspor ke berbagai Negara.

Metode penyulingan yang digunakan umumnya digunakan pada penyulingan rakyat adalah dengan cara uap dan air (kukus) yang berdasarkan dari pengalaman saja sehingga kurang efektif dan efisien. Oleh karena itu dilakukan

penelitian mengenai analisis kinerja dan efisiensi energi penyulingan minyak jeruk pamelo dengan metode uap dan air dengan sistem non kohobasi untuk mengetahui sistem yang akan menghasilkan efisiensi energi yang lebih baik. Metode penyulingan yang digunakan umumnya digunakan pada penyulingan rakyat adalah dengan cara uap dan air (kukus) yang berdasarkan dari pengalaman saja sehingga kurang efektif dan efisien. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai analisis kinerja dan efisiensi energi penyulingan minyak jeruk pamelo dengan metode uap dan air dengan sistem non kohobasi untuk mengetahui sistem yang akan menghasilkan efisiensi energi yang lebih baik. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan bakar LPG.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis kinerja prototipe alat penyulingan skala industri kecil minyak jeruk pamelo dengan sistem non kohobasi dengan penggunaan dandang biasa dan dandang modifikasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tumbuhan Buah Jeruk Pamelo

2.1.1. Deskripsi Tumbuhan Buah Jeruk Pamelo

Jeruk Besar dalam bahas Inggris disebut pummelos, bahas Indonesi jeruk besar dan bahasa Jawa jeruk gulung. Jenis jeruk ini dapat tumbuh dengan baik didataran rendah hingga ketinggian 1.000 meter di atas permukaan laut. Jenis jeruk ini lebih menyukai daerah yang bertopografi datar (tidak bervariasi), permukaan air tanahnya dalam dan tidak tergenang air. Jenis jeruk berasal daerah kepulauan Polynesia sampai semenanjung Malaka. Berarti jenis jeruk ini berasal dari Indonesia. Setiap pohon yang besar dapat menghasilkan buah sebanyak 200 buah dalam satu musim. Waktu berbunga sama seperti jenis jeruk lain. Waktu pembentukan bunga sampai buah masak membutuhkan waktu sekitar 7-8 bulan. Jeruk besar terdiri dari berbagai macam jenis, Jeruk Pandan, Jeruk Sinyonya, Jeruk Cikoneng, Jeruk Nambangan, Jeruk Delima, Jeruk Silempang, Jeruk Oyod Gondong, Jeruk Delima Kepyar, Jeruk Nambangan-Madiun, Jeruk pamelo, Jeruk Gulung, Jeruk Pandanwangi (Soelarso, 1996).

Buah jeruk salah satu jenis buah-buahan yang paling banyak digemari oleh masyarakat kita. Oleh karena itu tidaklah mengherankan, jika perkembangan tanaman jeruk pada dekade 1970 hingga 1980 mengalami perubahan populasi yang cukup tajam. Pada saat itu sebagian besar petani buah menyadari, bahwa komoditas buah jeruk memang dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat, disamping itu buah jeruk banyak mengandung jenis vitamin, terutama vitamin C dan vitamin A.

Menurut Puslitbang Hortikultura di pasar minggu, saat ini sudah tersedia 74.000 pohon induk bebas penyakit, yang dapat dijadikan sumber bibit mata tempel dan diperkirakan setiap pohon dapat menghasilkan 50 mata tempel. Persediaan bibit jeruk bebas penyakit di mulai sejak tahun 1990. Usaha ini dilakukan tahap demi tahap. Tahap awal membangun fasilitas blok pondasi di Jawa Timur, Sulawesi Selatan, Kalimantan Barat, Riau, Jambi dan Bali, yang

ditanami pohon induk bebas penyakit. Tahap kedua membentuk BPMT (Blok Pengadaan Mata Tempel) yaitu perbanyak mata tempel.

Secara umum, buah jeruk terdiri dari bagian daging buah dan kulit. Bagian daging buah yang dapat dimakan disebut dengan endokarp. Endokarp terdiri atas segmen-segmen yang disebut carpel atau locule. Di dalam segmen-segmen tersebut terdapat kantung-kantung sari buah yang berdinding tipis. Endokarp dikelilingi oleh bagian jeruk yang dinamakan kulit. Kulit buah jeruk terdiri dari flavedo dan albedo. Flavedo merupakan bagian kulit luar yang terletak di bagian bawah lapisan epidermis dan mengandung kromoplas dan kantung minyak, sedangkan kulit bagian dalam yang disebut albedo merupakan lapisan jaringan busa. Bagian tengah buah jeruk disebut dengan core atau central plasenta yang berbatasan dengan biji yang terdapat di dalam segmen (Ting dan Attaway, 1971).

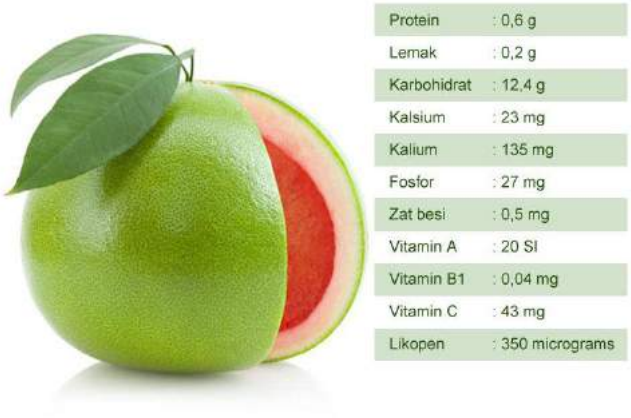
Pomelo adalah sebutan untuk jeruk besar. Di indonesia lebih dikenal sebagai jeruk pamelo atau jeruk gulung. Meskipun popular dengan sebutan jeruk pamelo, sentra jeruk ini bukan dipulau Bali, melainkan di Nambangan, Magetan (Jawa Timur). Tanaman jeruk pamelo tidak hanya terdapat di Nambangan.Tanaman asli Indonesia sudah menyebar di Iran, Pakistan, India, Malaysia, RRC dan Australia. Salah satu varietasnya, yaitu pomelo sudah dikembangkan di Negara-Negara subtropis dan popular dengan sebutan grapefruit. Ukuran grapefruit sedikit lebih kecil dari jeruk pamelo dan kegunaannya hanya untuk konsentrat.

2.1.2. Sistematika Buah Jeruk Pamelo (*C. maxima Merr.)*

Sistematika buah jeruk pamelo adalah sebagai berikut :

Kingdom	:	Plantae
Divisi	:	Spermatophyta
Class	:	Dicotyledonae
Ordo	:	Rutales
Famili	:	Rutaceae
Genus	:	Citrus
Spesies	:	Citrus maxima Merr.
Nama Lokal	:	Jeruk Pamelo

2.1.3. Komposisi Kimia Albedo Kulit Jeruk Pamelo



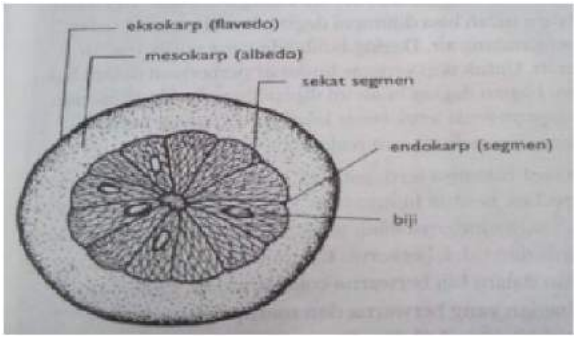
Gambar 1. Komposisi kimia pada jeruk pamelo

Jeruk pamelo memiliki cita rasa manis, asam, dan segar karena banyak mengandung air. Jeruk pamelo mengandung vitamin B, provitamin A, vitamin B1, B2, dan asam folat. Setiap 100 gram jeruk pamelo mengandung 53 Kkal energi protein 0,6 g, lemak 0,2 g, karbohidrat 12,2 g, retinol 125 mcg, kalsium 23 mg, dan fosfor 27 mg. Kandungan lain seperti flavonoid, pektin, dan lycopene menjadikan buah ini semakin kaya akan zat-zat yang bermanfaat bagi kesehatan. Seperti jeruk lain, jeruk pamelo adalah sumber vitamin C (43 mg dalam 100 gram bagian) dan sangat baik sebagai sumber antioksidan.

Flavedo mengandung minyak essensial, pigmen karotenoid dan senyawa steroid, sedangkan albedo kaya akan senyawa selulosa, hemiselulosa, lignin, pektat, dan fenolik. Komposisi dari dinding segmen, kantung sari buah, dan pusat buah tidak banyak berbeda dengan albedo. Sebagian besar gula dan asam sitrat terdapat pada sari buah disamping komponen nitrogen, lipid, senyawa fenolik, vitamin, dan senyawa anorganik (Ting dan Attaway, 1971). Bagian dalam kulit buah jeruk pamelo yang berwarna putih (albedo) dapat dijadikan makanan, seperti manisan, selain itu dapat dibuat menjadi alkohol dan gula tetes serta dapat juga diekstrak kandungan pektin di dalamnya.

Hasil penelitian dari Purbianti (2005) menunjukkan pektin paling banyak terdapat pada kulit jeruk pamelo dibandingkan dengan kulit jeruk keprok dan jeruk lemon. Jeruk pamelo memiliki rendemen (11,13%), kadar air (17,17%),

viskositas (16,67 cps), persentase kemurnian pektin (69,69%), dan derajat keputihan (56,33).



Gambar 2. Penampang melintang buah jeruk pamelo.

2.1.4. Manfaat Buah Jeruk

Buah jeruk bukan hanya dinikmati rasanya yang segar saja, melainkan buah jeruk juga sebagai pelepas dahaga dan sebagai buah pencuci mulut. Ternyata buah jeruk memiliki khasiat ganda, yaitu di samping dapat diolah menjadi minuman atau makanan juga dapat dimanfaatkan untuk obat. Sehubungan dengan tingginya kadar vitamin C pada buah jeruk, maka buah jeruk dapat diolah menjadi tablet-tablet vitamin C atau dimakan lansung untuk menyembuhkan penyakit *ging givatis* (gusi berdarah) dan penyakit influensa.

Tabel 1 di bawah ini merupakan kandungan kadar vitamin dan zat mineral lainnya, pada setiap 100gram buah jeruk, adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kandungan vitamin dan zat mineral lainnya setiap 100 gram buah jeruk

Kandungan Kadar	Jenis Jeruk			
	Keprok	Manis	Nipis	Grape Fruit
Vitamin A (I.U.)	400,0	200,0	-	-
Vitamin B (I.U.)	60,0	60,0	60,0	60,0
Vitamin C (I.U.)	60,0	30,0	40,0	50,0
Protein (Gram)	0,5	0,5	0,5	0,5
Lemak (Gram)	0,1	0,1	-	-
Hidrat Arang (Gram)	8,0	10,0	3,0	4,0
Besi (Mgr)	-	0,3	0,1	0,1
Kapur (Mgr)	40,0	40,0	10,0	20,0
Phosphor (Mgr)	20,0	20,0	10,0	20,0

2.1.5 Klasifikasi Bahan Alam

Bahan alam didefenisikan di sini sebagai senyawa organik dengan bobot molekul antara 100 hingga 2000. Dalam arti yang lebih luas, istilah bahan alam juga dapat digunakan untuk senyawa yang dihasilkan dari alam, seperti bahan tanaman mentah, bahan makanan, resin dan eksudat tanaman atau ekstrak bahan tanaman (Heinrich, *etal*. 2005).

Senyawa kimia bermolekul besar merupakan bagian utama dalam organ tanaman kering. Senyawa bermolekul besar ini berfungsi sebagai pembentuk struktur tanaman (selulosa, kitin, lignin dan pektin), sebagai cadangan makanan amilum, protein, lipoprotein) atau untuk memenuhi fungsi metabolisme penting lainnya (protein dan enzim). Senyawa kimia dari tanaman yang berbeda-beda dapat disari dengan pelarut umum, berupa senyawa kimia tanaman dengan molekul kecil. Sejumlah kelompok bahan alam dapat dibuat dari asam amino fenilalanin, terutama fenilpropana, lignin, kumarin dan flavonoid, semuanya memiliki substruktur umum yang berbasis cincin 6-karbon aromatik (unit C6) dengan rantai 3-karbon (unit C3) yang melekat pada cincin aromatik. Dengan meningkatnya jenis dan tipe senyawa yang ditentukan di dalam berbagai bahan alam, senyawa yang terdapat dalam tumbuhan adalah senyawa metabolit primer dan senyawa metabolit sekunder (Wiryowidagdo, 2008)

2.1.6 Senyawa Metabolit Primer dan Sekunder

Sejak zaman prasejarah manusia telah memanfaatkan ekstrak tanaman untuk mengobati dan membunuh. Pada zaman modern senyawa organik yang diisolasi dari kultur mikroorganisme, seperti halnya dari tanaman, telah banyak digunakan untuk mengobati berbagai penyakit (misalnya antibiotika penisilin dan tetrasiklin). Senyawa-senyawa organik yang berasal dari sumber-sumber alami ini menyusun suatu kelompok besar yang disebut produk-produk alami (natural products), atau yang lebih dikenal sebagai metabolit sekunder. Suatu jaring-jaring yang kompleks dari reaksi-reaksi yang dikatalisis oleh enzim kini telah diketahui, yang bermula dari pengikatan karbondioksida dalam proses fotosintesis, sampai

ke senyawa-senyawa yang beragam yang disebut metabolit primer, misalnya asam amino, asetil koenzim-A, asam mevalonat, gula dan nukleotida.

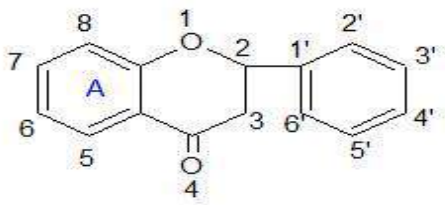
Metabolit sekunder dapat dibedakan secara akurat dari metabolit primer berdasar kriteria berikut : penyebarannya lebih terbatas, terdapat terutama pada tumbuhan dan mikroorganisme serta memiliki karakteristik untuk setiap genera, spesies atau strain tertentu. Metabolit itu dibentuk melalui alur (pathway) yang khusus dari metabolit primer. Sebaliknya, metabolit primer sebarannya luas pada semua benda hidup dan sangat erat terlibat dalam proses-proses kehidupan yang esensial. Metabolit sekunder tidaklah bersifat esensial untuk kehidupan, meski penting bagi organisme yang menghasilkannya.

Senyawa metabolit sekunder juga merupakan senyawa kimia molekul kecil dengan penyebaran terbatas. Berikut ini beberapa penggolongan senyawa metabolit sekunder; minyak atsiri, alkaloid, flavonoid, tanin, resin, glikosida, kumarin, terpenoid dan steroid. (Sirait, 2007)

2.1.7 Senyawa Flavonoida

Senyawa flavonoida adalah senyawa-senyawa polifenol yang mempunyai 15 atom karbon, terdiri dari 2 cincin benzena yang dihubungkan menjadi satu oleh rantai liniear yang terdiri dari tiga atom karbon, kerangka ini dapat ditulis sebagai C_6-C_3-C_6. Jadi senyawa flavonoida adalah senyawa 1,3 diarilpeopana, senyawa isoflvonoida adalah senyawa 1,2 biarllpropana, sedang senyawa-senyawa neoflavonoida adalah senyawa 1,1 diarilpropana.

Sistem penomoran untuk turunan senyawa flavonoid diberikan di bawah



Gambar 3. Penomoran Flavonoid

(Robinson, 1995) Istilah flavonoida diberikan pada suatu golongan besar senyawa yang berasal dari kelompok senyawa yang paling umum, yaitu senyawa flavon, suatu jembatan oksigen terdapat diantara cincin A dalam kedudukan orto, dua atom karbon benzil yang terletak disebelah cincin B. Senyawa heterosiklik ini, pada tingkat oksidasi paling rendah dan dianggap sebagai struktur induk dalam kelompok senyawa-senyawa ini (Manito, 1981).

Flavonoid merupakan kandungan khas tumbuhan hijau dengan mengecualikan alga. Flavonoid sebenarnya sebenarnya terdapat pada semua bagian tumbuhan termasuk daun, akar, kayu, kulit, tepung sari, nektar, bunga, buah dan biji. Hanya sedikit saja catatanyang melaporkan adanya flavonoid pada hewan , misalnya dalam kelenjar bau berang-berang. 'propopolis' (sekresi lebah) dan didalam sayap kupu-kupu ; itupun dengan anggapan bahwa flavonoid tersebut berasal dari tumbuhan yang menjadi makanan hewan tersebut dan tidak dibiosintesis di dalam tubuh mereka (Markham, 1988).

Flavonoid mengandung sistem aromatik yang terkonjugasi dan karena itu menunjukkan pita serapan kuat pada daerah spectrum UV dan spectrum tampak. Akhirnya flavonoid umumnya terdapat dalam tumbuhan, terikat pada gula sebagai glikosida dan aglikon flavonoida yang mana pun mungkin saja terdapat dalam satu tumbuhan berpembuluh, tetapi beberapa kelas lebih terbesar daripada yang lainnya: flavon dan flavonolterdapat di semesta, sedangkan isoflavon dan biflavon hanya terdapat pada beberapa suku tumbuhan (Harborne, 1996).

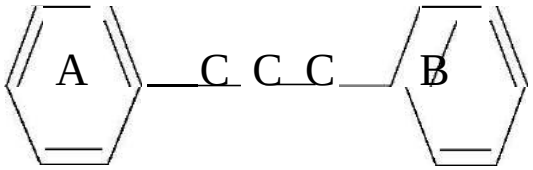
Senyawa flavonoida pada tumbuhan memiliki variasi konsentrasi yang ditemukan dalam jumlah yang kecil. Variasi konsentrasi atau tipe dari flavonoid yang ditemukan dalam jumlah kecil pada tumbuhan biasanya disebabkan atau dilihat berdasarkan umur dari jaringan tumbuhan tersebut, siklus kehidupan tumbuhan pertahun. Pigmentasi dari merah ke warna ungu kecoklatan dari daun-daun pada tumbuhan, menunjukkan sebagai sebagai sifat alami daun tersebut. Pada tumbuhan terjadi anabilisme dan katabolisme flavonoid. Sedikit yang mengetahui dari katabolisme polimer seperti tanin dari formasi polimer ditunjukkan seperti rute detoksifikasi isoflavonoid (Vickery, *et all*. 1981).

Adapun struktur dari flavonoida adalah struktur yang mempunyai dua cincin aromatik yang dihubungkan dengan tiga karbon yang membentuk suatu cincin yang terdapat guguseter (C-O-C) dan satu karbonil (C=O) yang dinotasikan cincin C. kedua cincin aromatik ini dinotasikan cincin A dan B. Pada cincin A dan B ada dijumpai atau terdapat sustituen hidroksil (OH) atau metoksi, juga gugus gula yang bentuk *C*-glikosida atau *O*-glikosida. Tapi ada juga senyawa flavonoida tanpa adanya gugus C=O yang disebut senyawa flavan (Ikan, 1969).

Dalam tubuh manusia, flavonoid dapat berguna untuk mengobati gangguan sirkulasi perifer, menurunkan tekanan darah dan meningkatkan aquaresis. Banyak juga obat-obat mengandung flavonoid yang dipasarkan di berbagai negara sebagai obat anti-inflamasi, antispasmodik, antialergi, dan antivirus (Ikan, 1969).

2.1.8 Struktur Dasar senyawa Flavonoida

Senyawa flavonoida adalah senyawa yang mengandung C15 terdiri atas dua inti fenolat yang dihubungkan dengan tiga satuan karbon yang dapat atau tidak dapat membentuk cincin ketiga. Struktur dasar flavonoida dapat digambarkan sebagai berikut (Sastrohamidjojo, 1996) :



Gambar 4. Kerangka dasar senyawa flavonoida

2.1.9 Kegunaan Flavonoida

Bagi tumbuhan untuk menarik serangga, yang membantu proses penyerbukan dan untuk menarik perhatian binatang yang membantu penyebaran biji. Bagi manusia dalam dosis kecil, flavon bekerja sebagai stimulan pada jantung, hesperidin mempengaruhi pembuluh darah kapiler. Flavon terhidroksilasi bekerja sebagai diuretik dan sebagai antioksidan pada lemak (Sirait, 2007).

Senyawa flavonoida juga berperan dalam memberikan banyak warna

laindi alam, terutama daun mahkota kuning dan jingga, bahkan flavonoida tidak berwarna mengabsorbsi cahaya pada spectrum UV (karena banyak memiliki gugus kromofor) dan dapat dilihat oleh banyak serangga. Senyawa ini diduga memiliki manfaat ekologi yang besar di alam berkat warnanya sebagai penarik serangga dan burung untuk membantu penyerbukan tanaman.Flavonoda tertentu juga mempengaruhi rasa makanan secara signifikan; misalnya beberapa tanaman memiliki rasa pahit dan kesat seperti flavanon naringin, pada kulit grapefruit (*C. paradisi*). Senyawa flavonoida diduga sangat bermanfaat dalam makanan karena, berupa senyawa fenolik, senyawa ini yang bersifat antioksidan kuat. Banyak kondisi penyakit yang diketahui bertambah parah oleh adanya radikal bebas seperti superoksida dan hidroksil. Dan flavonoida memiliki kemampuan untuk menghilangkan dan secara efektif 'menyapu' spesies pengoksidasi yang merusak ini. Oleh karena itu, makanan yang kaya flavonoida dianggap penting untuk mengobati penyakit-penyakit, seperti kanker dan penyakit jantung (Heinrich, *et all*. 2005).

2.1.10 Hasil Lain Dari Buah Jeruk

Di negara Amerika, penanaman jeruk sudah merupakan industri tersendiri dalam satu areal. Kerena terlalu banyaknya buah jeruk yang diolah, maka banyak juga sampah dari buah jeruk yang berupa kulit luar, kulit dalam dan biji. Dari sampah buah jeruk tersebut setelah diteliti dan dikaji ternyata dapat menghasilkan hasil ikutan yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Dari sampah buah jeruk dapat diperoleh produk-produk baru berupa;

1) Gula tetes (melasse) atau sirop.
2) Alkohol.
3) Minyak dari kulitnya.
4) Minyak dari biji.
5) Pectin untuk pembuatan jelly.
6) Makanan ternak sesuai melalui proses pengeringan.

Sedangkan minyak dari kulit buah jeruk ini banyak dipergunakan sebagai:

1) Minyak goreng.
2) Bahan sabun wangi.
3) Pengharum minuman dan sebagai aroma campuran kue-kue, ice cream, dan sebagainya.

Untuk memproduksi hasil ikutan tersebut di atas, kiranya tidak sulit untuk diusahakan di negarakita. Karena potensi bahan relatif lebih murah dan cukup banyak, serta lebih mudah diperoleh dalam skala besar. Apalagi jika dikaitkan dengan sasaran bidang pertanian untuk menciptakan industri pertanian (agro industri) akan sangat cocok, karena hasil ikutan buah jeruk produksi kita masih sedikit, yaitu baru terbatas pada hasil pengolahan rumah tangga (home industri), sebagai contoh yaitu pembuatan manisan dari kulit jeruk besar *(pompelmoes)*. Namun hasil ikutan dari jeruk dan bijinya belum terpikirkan.

2.2 Metode Pembuatan Minyak Atsiri

2.2.1 Metode pembuatan minyak atsiri Penyulingan (Destilasi)

Proses pemisahan komponen yang berupa cairan atau padatan dari 2 macam campuran atau lebih berdasarkan perbedaan titik uapnya, dan proses ini dilakukan terhadap minyak atsiri yang tidak larut dalam air. Dalam perkembangan pengolahan minyak atsiri telah dikenal 3 macam sistim penyulingan yakni :

1. Penyulingan dengan Air (Water distillation)

   Metode penyulingan dengan air merupakan metode paling sederhana jika dibandingkan dua metode penyulingan yang lain. Pada metode ini, bahan yang akan disuling dimasukkan dalam ketel suling yang telah diisi air. Dengan begitu, bahan bercampur langsung dengan air. Pada metode ini, perbandingan jumlah air perebus dan bahan baku dibuat berimbang, sesuai dengan kapasitas ketel. Bahan yang telah mengalami proses pendahuluan seperti perajangan dan pelayuan dimasukkan dan dipadatkan. Selanjutnya, ketel ditutup rapat agar tidak terdapat celah yang mengakibatkan uap keluar.

   Uap yang dihasilkan dari perebusan air dan bahan dialirkan melalui pipa pendingin sehingga terjadi pengembunan (kondensasi). Selanjutnya air dan

minyak ditampung dalam tangki pemisah. Pemisahan air dan minyak dilakukan berdasarkan perbedaan berat jenis.

2. Penyulingan dengan Air dan Uap (Water and Steam Distillation)

   Metode ini disebut juga dengan system kukus. Pada metode pengukusan ini, bahan diletakkan di atas piringan atau plat besi berlubang seperti ayakan (sarangan yang terletak beberapa sentimeter di atas permukaan air. Saat air direbus dan mendidih, uap yang terbentuk akan melalui sarangan lewat lubang-lubang kecil dan melewati celah-celah bahan. Minyak atsiri dalam bahan pun akan ikut bersama uap panas tersebut melalui pipa menuju ketel kondensator (pendingin). Selanjutnya, uap air dan minyak akan mengembun dan ditampung dalam tangki pemisah. Pemisahan air dan minyak atsiri dilakukan berdasarkan berat jenis.

   Keuntungan dari metode ini yaitu penetrasi uap terjadi secara merata ke dalam jaringan bahan dan suhu dapat dipertahankan sampai 100^0C. Lama penyulingan relative lebih singkat, rendemen minyak lebih besar dan mutunya lebih baik jika dibandingkan dengan minyak hasil dari system penyulingan dengan air.

3. Penyulingan dengan Uap

   Pada system ini, air sebagai sumber uap panas terdapat dalam “boiler” yang letaknya terpisah dari ketel penyulingan. Uap yang dihasilkan mempunyai tekanan lebih tinggi dari tekanan udara luar. Proses penyulingan dengan uap ini baik jika digunakan untuk menyuling bahan baku minyak atsiri berupa kayu, kulit batang, maupun biji-bijan yang relative keras.

2.2.2 Ekstraksi dengan Pelarut

Prinsip dari ekstraksi ini adalah melarutkan minyak atsiri dalam bahan dengan pelarut organik yang mudah menguap. Pelarut organik akan berpenetrasi ke dalam jaringan dan akan melarutkan minyak serta bahan “non volatile” yang berupa resin, lilin dan beberapa macam zat warna. Proses ekstraksi biasanya dilakukan dalam suatu wadah (ketel) disebut “extractor”. Berbagai pelarut yang

biasa digunakan adalah petroleum ether, carbon tetra chlorida, chloroform, dan pelarut lainnya yang bertitik didih rendah.

Ekstraksi dengan pelarut organik umumnya digunakan untuk mengekstraksi minyak atsiri yang mudah rusak oleh pemanasan uap dan air, seperti untuk mengekstraksi minyak dari bunga-bungaan misalnya bunga cempaka, melati, mawar, ”hyacinth”, ”tuberose”, ”narcissus”, ”gardenis”, ”lavender”, ”lily”, ”minose”, ”labdanum”, ”violet lower” dan ”geranium”.

Pembuatan minyak atsiri dengan pelarut menguap dilakukan dengan menggunakan ekstraktor. Ekstraktor yang digunakan untuk mengekstrak minyak atsiri dari bunga terdiri dari tabung ekstraktor berputar dan tabung evaporator (penguap).

2.2.3 Proses Distilasi

Pada Proses distilasi, fase uap akan segera terbentuk setelah dipanaskan. Uap dan cairan dibiarkan mengadakan kontak sehingga dalam waktu yang cukup semua komponen yang ada dalam larutan akan terdistribusi dalam fase membentuk keseimbangan fisik. Setelah keseimbangan fisik tercapai, uap segera dipisahkan dari cairannya membentuk distilat. Dalam distilat banyak mengandung komponen dengan tekanan uap murni lebih tinggi ataumempunyai titik didih lebih rendah. Sedangkan komponen yang tekanan uap murni rendah atau titik didih tinggi sebagian besar terdapat dalam residu. Prinsip dasar inilah yang membedakan pengertian tentang proses pemisahan secara distilasi dengan proses evaporasi atau drying walaupun ketiganya menggunakan panas sebagai tenaga pemisahnya. Produk hasil fermentasi mengandung alkohol dengan kadar 9-12%. Dengan distilasi bertingkat maka kadar alkohol dapat ditingkatkan. Pada tekanan atmosfer air mendidih pada suhu 100^{o}C dan alkohol pada suhu 78^{o}C. Jika larutan alkohol-air dipanaskan maka akan lebih banyak molekul alkohol yang menguap. Jika uap ini dikondensasikan maka konsentrasi alkohol akan lebih besar daripada larutan awalnya. Jika proses ini diulang terus akan diperoleh larutan yang semakin meningkat konsentrasinya. Dalam kondisi ini alkohol tidak bisa dipekatkan lagi

dengan cara distilasi karena perbandingan jumlah alkohol dan air akan selalu konstan (Geankoplis, 1983).

2.2.4 Kondisi Destilasi

Jarak yang baik saat pengisian bahan baku adalah 75% dari kapasitas tangki. Jika lebih dari 75%, maka jarak yang ditempuh dan halangan yang dialami tangki uap semakin besar (syahbana, 2010). Untuk meningkatkan kualitas minyak atsiri dengan baik, sebaiknya destilasi menggunakan temperature minimum 99^{o}C dengan waktu yang lama 4 sampai 5 jam (Guenther, 1948 dan Abdurachman, 2009) apabila destilasi dilakukan pada temperature maksimum 140^{o}C, Waktu yang diterapkan harus lebih cepat dibanding dengan temperature minimum. Perlu diketahui bahwa, waktu yang tinggi (melebihi waktu 3 jam) akan menghasilkan minyak yang mengandung resin dan bau yang kurang enak (Rusli, 2010)

2.2.5 Perlakuan Terhadap Minyak Setelah Destilasi

Setelah proses destilasi selesai, sebaiknya minyak harus dipisahkan denga air, untuk mencegah terjadinya proses hydrolisa pada senyawa-senyawa eter. Air didalam minyak dapat diserap dengan menggunakan Na2SO4 anhidrida (Ketaren, 1985). Minyak atsiri pun memiliki sifat yang mudah menguap pada temperature kamar 26^{o}C, sehingga mudah bereaksi dan dapat rusak akibat pengaruh cahaya dan oksigen (guenther, 1947). Berikut adalah cara menghitung presentase rendemen minyak atsiri. (SNI 06-3735-1995).

$$\text{Rendemen Minyak (\%)} = \left\{ \frac{\text{Massa Minyak (gr)}}{\text{Massa Bahan Baku (gr)}} \right\} \text{X } 100 \qquad (1)$$

2.3 Prototipe Alat Penyulingan Dengan Air Dan Uap

2.3.1 Peralatan Penyulingan

Cara penyulingan dan penanganan bahan baku dapat mempengaruhi rendemen dan mutu minyak jeruk pamelo yang dihasilkan. Namun demikian bahan yang digunakan dalam pembuatan peralatan-peralatan penyulingan juga mempunyai peranan dalam mempengaruhi mutu minyak hasil sulingan.Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan peralatan penyulingan adalah logam yang digunakan untuk tempat bahan dan pipa pendingin (Harris, 1993).

Logam yang digunakan untuk bahan peralatan penyulingan harus tidak bereaksi dengan uap air dan uap minyak. Bila bereaksi atau bersenyawa, hasilminyak akan rusak dan tidak laku dijual. Logam yang terbukti tidak bereaksi atau bersenyawa dengan minyak atsiri adalah baja tahan karat (*stainless steel*) dan kaca tahan panas. Logam-logam lainnya seperti : alumunium, tembaga, timah putih, besi biasa, dan seng ada yang bereaksi dengan minyak atsiri tertentu, ada yang tidak, bergantung pada jenis minyak yang disuling (Harris, 1993). Menurut Rusli (2003), bahan konstruksi alat suling akan mempengaruhi mutu minyak terutama dalam karakteristik warnanya. Alat penyulingan dari bahan plat besi tanpa galvanis akan menghasilkan minyak yang berwarna gelap dan keruh karena karat.

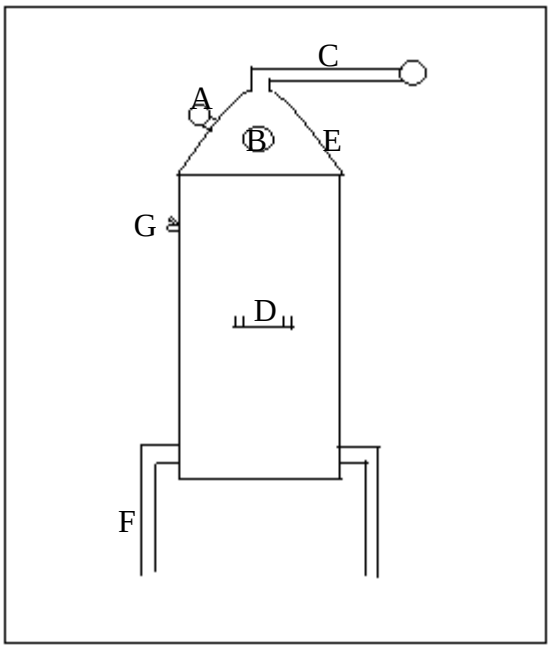
Menurut Ketaren (1985), peralatan yang biasanya digunakan dalam penyulingan terdiri atas : ketel uap, ketel suling, bak pendingin (kondensor) dan labu pemisah minyak (*florentine flask*). Penyulingan dengan sistem uap dan air tidak menggunakan ketel uap. Peralatan-peralatan inilah yang menjadi salah satu faktor penentu rendemen minyak atsiri yang dihasilkan.

1. Ketel Suling

   Ketel penyulingan berfungsi sebagai wadah atau bejana untuk menempatkan bahan tanaman yang akan disuling. Dalam ketel tersebut terdapat air atau uap yang berhubungan dengan bahan tanaman dan menguapkan minyak atsiri yang terkandung didalamnya. Ketel suling berbentuk silinder yang memiliki diameter yang hampir sama atau sedikit

lebih kecil dari tingginya (Sastrohamidjojo, 2004). Pada penyulingan dengan air dan uap, sebaiknya ukuran diameter sama dengan ukuran tingginya. Hubungan antara tinggi dan diameter ketel yang digunakan tergantung dari sifat porositas bahan yang diolah. Ketel yang berukuran tinggi baik untuk bahan yang bersifat kamba, sedangkan ketel yang lebih rendah baik untuk1bahan yang bersifat kompak. Ketel suling dilengkapi dengan penutup yang dapat ditutup rapat dan saringan atau dasar semu diatas dasar ketel suling untuk penyulingan dengan uap dan air. Pada tutup dipasang pipa untuk mengalirkan uap ke kondensor (Ketaren, 1985).

Pada penyulingan yang dirancang sketsa ketel suling dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Prototipe ketel suling

Keterangan :

A : Pengukur tekanan

B : Pengukur suhu

C : Pipa penghubung ketel ke kondensor

D : Ketel suling

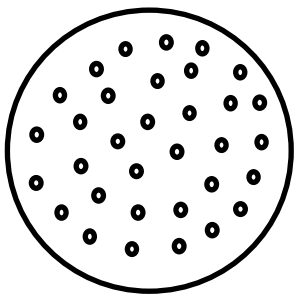
E : Tutup ketel

F : Kaki ketel suling

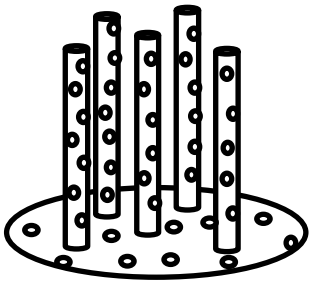
G : Katup pengatur uap

Ketel suling yang digunakan terbuat dari *stainless steel* berbentuk silinder dengan diameter 44,5 cm dan tinggi 100,5 cm. Berat yang dapat diisikan yaknihingga 25 kg dan volume yang dapat diisikan air adalah 156 liter. Selain itu ketel suling ini dilengkapi dengan tutup ketel yang dilengkapi dengan 10 buah mur dan baut serta karet pada bagian atas ketel untuk mencegah kebocoran saat penyulingan berlangsung. Tutup ketel mempunyai pipa yang disambungkan pada kondensor Selain itu didalam ketel suling dipasang suatu dandang yang berada 50 cm diatas dasar ketel suling yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan bahan yang akan disuling sehingga air yang mendidih tidak kontak dengan bahan yang disuling. Dandang bersifat tidak permanen sehingga bisa dilepaskan dari ketel suling untuk mempermudah pembersihan ketel suling. Saringan terbuat dari plat *stainless steel* yang berlubang, pada bagian tengah terdapat bagian yang menjadi tumpuan untuk mengangkat rak yang terbuat dari kawat. Dandang yang digunakan pada penyulingan ini ada dua jenis yakni dandang biasa dan dandang modifikasi, sketsa dandang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Selain itu ketel suling dilengkapi dengan *Mano meter* untuk mengetahui tekanan uap dan *Termometer* untuk mengetahui suhu di dalam ketel suling

Pipa penghubung antara ketel dan pendingin diletakkan pada bagian atas tutup ketel. Pipa yang menghubungkan ketel dan kondensor terbuat dari *stainless steel* dengan panjang 108,5 cm dan diameter 2,3 cm.



Gambar 6. Dandang biasa



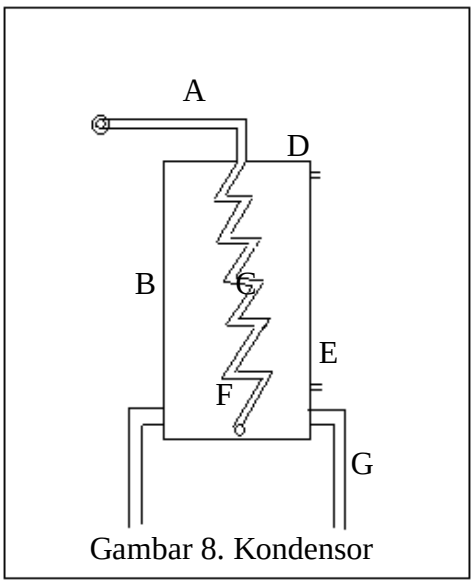
Gambar 7. Dandang modifikasi

2. Pendingin (Kondensor)

Kondensor adalah peralatan pindah panas yang digunakan untuk mengubah uap menjadi fase cair dengan menghilangkan panas laten yang dimiliki uap. Proses pendinginan dilakukan dengan menggunakan zat cair yang lebih dingin yang disebut pendingin (McCabe, 1986). Kondensor adalah alat yang berupa bak atau tabung silinder dan di dalamnya terdapat pipa lurus atau berbentuk spiral yang berfungsi untuk menguapkan uap menjadi bentuk cair. Kondensor terdiri atas beberapa tipe yaitu : lingkaran (*coil*), segi empat, zigzag, dan banyak pipa (*multitubular*) (Rusli, 2003).

Menurut Bernasconi *et al* dalam Fatahna (2005), perpindahan panas yang baik pada alat-alat penukar panas dapat dicapai dengan mengatur perbedaan suhu yang besar antara bahan dan media pendingin, laju alir yang besar dari bahan dan media pendingin, permukaan penukar panas yang bersih dan luas permukaan perpindahan panas yang besar serta dinding yang tipis. Cara pengembunan uap yang paling sempurna adalah dengan mengalirkan air pendingin berlawanan arah dengan aliran uap minyak. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memasukkan air pendingin dari bagian bawah kondensor dan dikeluarkan dari bagian atas dengan demikian destilat yang keluar benar-benar berbentuk cairan (Harris, 1993).

Pada penyulingan yang dirancang sketsa kondensor dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kondensor

Keterangan :

A : Pipa penghubung kondensor dengan ketel suling

B : Kondensor

C : Pipa uap

D : Pipa air pendingin keluar

E : Pipa air pendingin masuk

F : Pipa destilat

G : Kaki penyangga kondensor

Kondensor yang digunakan adalah jenis penukar panas berbentuk silinder dengan air sebagai media pendingin. Kondensor ini terdiri dari pipa dan bak kondensor. Pipa pada kondensor terdiri dari 2 pipa dengan bentuk spiral atau zigzag. Bak kondensor terbuat dari *stainless steel* dengan volume bak kondensor 156 liter.

Besarnya energi panas yang dapat dibebaskan oleh uap sewaktu mengembun dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = U\ A\ \Delta T_{LMTD}$$

Dimana :

Q : Energi Yang Dilepaskan Oleh Uap Air, (J)

U : Konstanta Pindah Panas Kondensor (W/m2.°K)

A : Luas area pindah panas kondensor, (m^2)

□TLMTD : Selisih suhu rataan logaritmik (°K)

Harga U tergantung dari bentuk pipa. Jika pipa berbentuk *coil* maka nilai U-nya = 40. Bila berbentuk tubular maka nilai U-nya = 200 (Ketaren, 1985).

Cara pengembunan uap yang paling sempurna adalah dengan mengalirkan air pendingin berlawanan arah dengan aliran uap minyak. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memasukkan air pendingin dari bagian bawah kondensor dan dikeluarkan dari bagian atas dengan demikian destilat yang keluar benar-benar berbentuk cairan (Harris, 1993).

3. Pemisah Minyak (Separator)

Menurut Lutony dan Rahmawati (1994), penampung hasil kondensasi adalah alat untuk menampung distilat yang keluar dari kondensor lalu memisahkan minyak dari air suling. Jumlah air suling selalu lebih besar dari jumlah minyak, dalam hal ini diperlukan agar air suling tersebut terpisah dengan baik dari minyak atsiri.

Pemisahan minyak dan air dapat terjadi karena perbedaan bobot jenis. Jika bobot jenis minyak lebih kecil dari satu, maka minyak akan berada di atas lapisan air sedangkan apabila bobot jenis minyak lebih dari satu, maka minyak akan berada pada bagian dasar separator. Dengan demikian perlu direkayasa alat pemisah untuk menampung hasil minyak atsiri yang lebih berat atau lebih ringan dari air. Pada penyulingan air serta penyulingan uap dan air maka air suling yang telah dipisahkan dari separator dapat dikembalikan ke dalam ketel suling untuk digunakan pada proses berikutnya. Proses penyulingan yang berksinambungan ini disebut kohobasi (Sastrohamidjojo, 2004).

Minyak jeruk pamelo larut dalam air sehingga diperlukan bahan pemisah untuk mengikat minyak jenuhnya. Pada penelitian ini maka digunakan corong pemisah sebagai separator dan larutan Hexan sebagai bahan yang mengikat minyak jeruk pamelo. Diperlukan waktu yang lama dalam proses pemisahannya dan penggunaan jumlah larutan hexan yang sesuai. Sketsa separator dapat dilihat Lampiran.

4. Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran merupakan tempat terjadinya proses pembakaran selama penyulingan berangsung dengan menggunakan bahan bakar yaitu LPG. Pada tungku pembakaran digunakan kompor yang mampu memanaskan ketel suling secara merata. Foto tungku pembakaran terdapat pada Lampiran.

2.4 Kehilangan Energi Pada Proses Penyulingan

Energi dikenal dalam berbagai bentuk, beberapa diantaranya yang dijumpai dalam bidang teknik kimia adalah : energi dalam, energi kinetik, energi potensial, energi mekanis, dan panas. Hampir semua operasi yang dijalankan untuk proses penyulingan melibatkan pembangkitan, penyerapan, dan kehilangan energi dalam bentuk panas. Energi berupa panas dapat berpindah dari dari suatu sistem ke lingkungannya atau sebaliknya. Ilmu perpindahan panas adalah salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari bagaimana energi dalam bentuk panas berpindah dari suatu zat ke zat lain yang suhunya lebih rendah (Kamil dan Pawito, 1983). Terdapat 3 tipe perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

1. Konduksi

   Perpindahan energi panas secara konduksi adalah perpindahan energi panas melewati massa yang tidak bergerak. Elektron-elektron bebas dari atom-atom benda yang dilaluinya memegang peranan penting dalam perpindahan energi panas secara konduksi. Molekul-molekul zat yang dilewati energi panas secara konduksi tidak berpindah, maka perpindahan energi panas secara konduksi hanya terjadi dalam zat padat. Zat-zat yang banyak mengandung elektron bebas mudah dialiri panas seperti tembaga, alumunium, besi baja dan lain sebagainya (Kamil dan Pawito,1983).

2. Konveksi

   Aliran energi panas secara konveksi disertai oleh perpindahan massa zat yang dilaluinya. Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada zat cair dan gas. Perpindahan panas secara konveksi merupakan gabungan antara perpindahan panas secara konduksi dan perpindahan massa. Cara energi panas berpindah dinamakan konveksi bebas atau sering disebut juga konveksi alami tetapi jika perpindahan panas tersebut berlangsung karena paksaan suatu alat seperti blower, kipas, pompa dan lain sebagainya, perpindahan energi panas tersebut dinamakan konveksi paksa (Kamil dan Pawito, 1983).

3. Radiasi

Pancaran (radiasi) adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat lain. Perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantara foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap kedalam bahan dan sebagian akan menembus bahan. Setiap benda diatas temperatur nol absolut memancarkan energi dalam bentuk radiasi. Tingkat radiasi yang dipancarkan tergantung pada suhu benda tersebut. Konstanta ε menggambarkan kapasitas suatu benda mengabsorbsi dan memancarkan radiasi (Kamil dan Pawito, 1983).

III. METODOLOGI

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Waktu Penelitian ini dimulai pada bulan juni – juli 2017 di laboratorium / Workshop Agroindustri Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan baku utama dan bahan pendukung. Bahan utama yang digunakan adalah kulit jeruk pamelo yang berasal dari perkebunan jeruk rakyat di kec. Ma'rang, kab. Pangkep, Sul-Sel. Sedangkan bahan pendukung yang digunakan antara lain gas lpg sebagai sumber energi, aquades, hexan dan alkohol 98%.

3.2.2 Alat

Penelitian ini menggunakan sistem penyulingan uap dan air (*waterand steam distillation*) yang terdiri dari beberapa alat diantaranya : ketel suling, kompor, pipa uap, kondensor, pipet tetes, corong pemisah sebagai separator, gelas ukur, *hot plate*, dandang biasa, dandang modifikasi (corong), timbangan analitik, pengukur waktu, timbangan kapasitas 50 kg dan botol gelas sebagai penampung. Skema sistem peralatan penyulingan metode uap dan air yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 10. Titik-titik pengukuran pada alat penyulingan adalah pengukuran suhu pada dinding ketel suling, tutup ketel suling, pipa penghubung ketel dengan kondensor, suhu destilat yang keluar dari kondensor serta suhu air pendingin masuk dan suhu air pendingin keluar di kondensor dan laju air pendingin dilakukan di kondensor.

3.3. Metode Penelitian

Dalam metode penelitian terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan meliputi: uji kebocoran ketel penyuling, uji kebocoran kondensor, uji tekanan dan

suhu ketel penyuling, serta uji pemisahan hasil sulingan dengan bahan kimia (N-Hexan)

Variable penelitian terdiri dari jumlah bahan baku kulit jeruk basah yaitu 15 kg dan kulit jeruk basah 15 kg yang dikeringkan, ukuran sampel 5-7 cm, suhu serta waktu destilasi 104°C selama 8, 9, dan 10 jam sebagai waktu kontrol pada 7 jam (7K) penyulingan. Metode penyulingan yang digunakan adalah metode penyulingan air dan uap. Masing-masing para meter jam akan di ambil hasil sulingan dan dihitung rendemen minyak yang dihasilkan, selanjutnya untuk mengetahui rendemen minyak perjamnya dengan cara menjumlahkan dari hasil pengamatan awal dengan hasil jam selanjutnya. Maka akan dilihat minyak atsiri yang dihasilkan dari tiga pengamatan waktu penyulingan tersebut, manakah yang memiliki rendemen paling banyak dari ke tiga parameter waktu diatas.

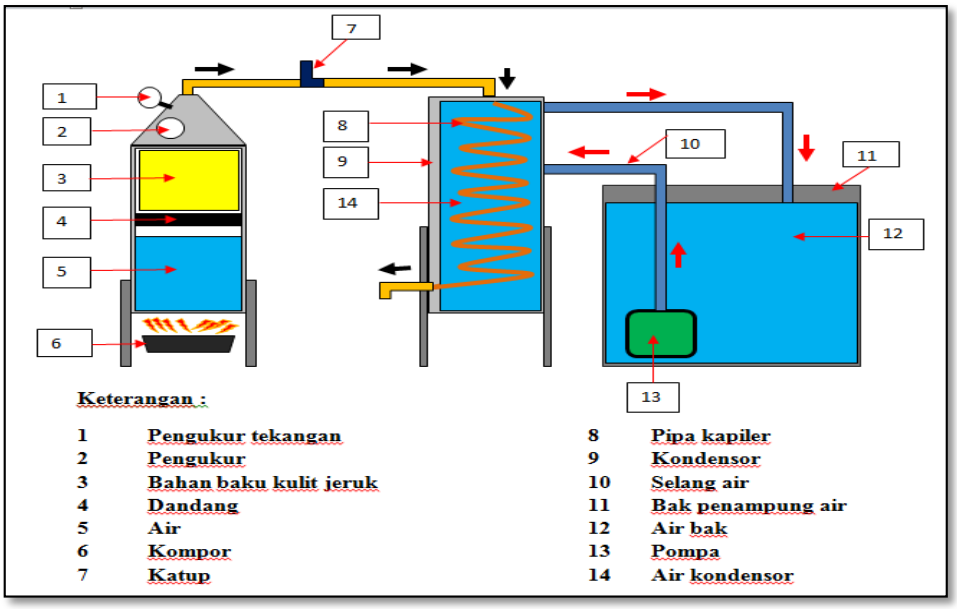
3.4 Penyulingan minyak kulit jeruk

Dalam penelitian ini dilakukan dengan dua metode, metode basah dan kering serta menggunakan dandang destilasi biasa serta dandang yang telah dimodifikasi (cerobong), masing-masing bahan yang digunakan 15 kg basah dan kering dalam penyulingan menggunakan dua dandang yang berbeda, dan dilakukan perhitungan rendemen minyak yang dihasilkan dari variabel waktu yang digunakan, Peroses penyulingan dilakukan sebanyak 4 kali penyulingan dapat dilihat dari Table 2.

Table 2. Metode penyulingan

Penyulingan	Bahan	Dandang /Alat	Kode
1	Basah	Biasa	Bb
2	Basah	Modifikasi	Bm
3	Kering	Biasa	Kb
4	Kering	Modifikasi	Km

Sumber : data primer 2017



Gambar 9. Alat dan proses penyulingan sistem air dan uap

Dalam percobaan ini akan dilihat waktu terbaik dalam melakukan penyulingan dengan metode kering dan basah serta dandang yang berbeda. Adapun dua metode yang digunakan seperti berikut:

3.4.1 Penyulingan metode basah (dandang biasa dan modifikasi)

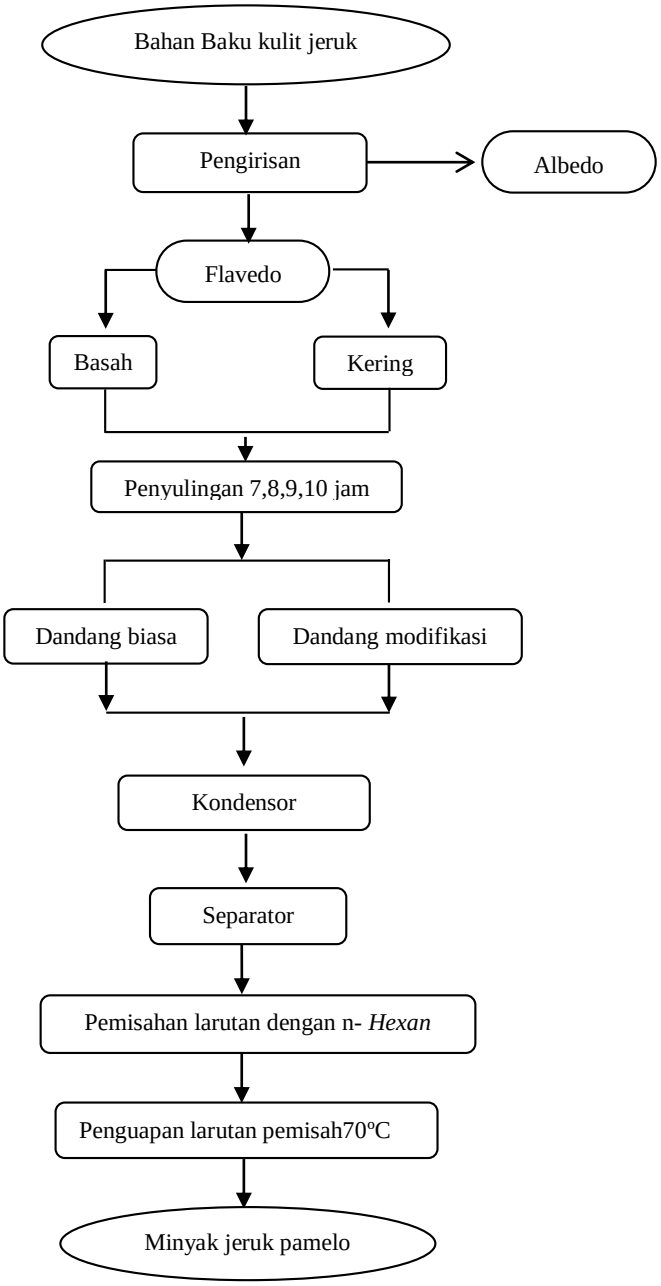
Kulit jeruk di pisahkan bagian Flavedo dan albedo selanjutnya flavedo di perkecil ukurannya (5-7 cm) dan ditimbang sebanyak 15 kg lalu dimasukkan kedalam ketel destilasi berkapasitas 20 kg yang menggunakan dadang biasa, dan dilakukan penyulingan uap dan air selama waktu yang ditentukan (8, 9, dan 10 jam) selanjutnya dilakukan hal yang sama dengan menggunakan dandang modifikasi. Dari hasil sulingan, kemudian campuran minyak dan air dipisahkan dengan decanter atau labu pemisah akan didapat perbedaan rendemen minyak yang akan dihasilkan.

3.4.2 Penyulingan dengan metode kering (dandang biasa dan modifikasi)

Kulit jeruk yang sudah di timbang 15 lalu dilakukan pengecilan ukuran (5-7 cm) selanjutnya dilakukan pengeringan dengan cahaya matahari selama 2-3 hari lalu dimasukkan kedalam ketel destilasi berkapasitas 20 kg dan melakukan penyulingan menggunakan dandang biasa selama (8, 9, jam 10) dan dandang

modifikasi menggunakan waktu yang sama. Dari hasil sulingan, kemudian campuran minyak dan air dipisahkan dengan decanter atau labu pemisah. Adapun diagram alur proses penyulingan dapat dilihat di Gambar 10.

DIAGRAM ALIR PROSES PENYULINGAN MINYAK ATSIRI JERUK PAMELO



Gambar 10. Diagram Alir Proses penyulingan minyak atsiri kulit jeruk besar

3.4.3 Pemurnian minyak atsiri kulit jeruk

Hasil dari sulingan akan dipisahkan antara dua fraksi minyak dan air dengan cara mencampurkan bahan kimia N-Hexan, dari 1000 ml hasil sulingan dimasukkan kedalam corong pemisah dan ditambahkan N-Hexan sebanyak 10 ml kemudian di homogenkan, larutan hasil sulingan akan terpisah antara minyak dan air, setelah itu minyak hasil pemisahan di panaskan dengan suhu 70°C sampai N-Hexan menguap, hanya minyak yang tersisa minyak jenuh dari jeruk pamelo.

3.5 Perhitungan Rendemen

Rendemen merupakan perbandingan jumlah (kuantitas) minyak yang dihasilkan dari ekstraksi tanaman aromatik. Adapun satuan yang digunakan adalah persen (%). Semakin tinggi nilai rendemen menunjukkan bahwa minyak atsiri yang dihasilkan semakin besar, hal ini perlu ditekankan karena mutu justru berbanding terbalik dengan rendemen. Semakin tinggi rendemen, biasanya minyak belum memenuhui syarat mutu yang baik. Sementara minyak bermutu baik biasanya ditandai dengan jumlah rendemen yang sedikit (Rochim 2009). Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan rendemen yaitu:

$$\text{Rendemen (\%)} \quad \frac{\text{Jumlah minyak yang dihasilkan}}{\text{Jumlah bahan sebelum diolah}} \text{ X } 100\%$$

3.6 Parameter Yang Diukur

Parameter yang akan diukur dalam proses penyulingan yaitu :

1. Lama penyulingan, ditentukan dengan melihat perolehan minyak selama penyulingan berlansung.
2. Bobot bahan sebelum penyulingan, bobot bahan dilakukan sebelum bahan disuling dan setelah bahan dikeringkan.
3. Volume dan bobot minyak atsiri hasil penyulingan, volume minyak atsiri ini diukur setelah proses penyulingan.

4. Komsumsi bahan bakar, untuk menentukan jumlah bahan bakar yang dipakai selama penyulingan, maka dilakukan pengukuran sebelum dan sesudah pembakaran dilakukan.
5. Suhu, suhu yang akan diukur meliputi suhu udara lingkungan, suhu air pendingin yang masuk ke dalam kondensor, suhu air yang keluar dari kondensor, suhu dinding luar ketel suling, suhu dinding luar tutup ketel suling dan suhu pipa penghubung ketel dengan kondensor.

3.7 Analisis Efisiensi Energi Peralatan Penyulingan

Analisis energi selama proses penyulingan meliputi kehilangan energi konveksi alamiah, kehilangan energi radiasi, efisiensi energi ketel suling dan efisiensi kondensor yaitu sebagai berikut :

1. Kehilangan Energi Konveksi Alamiah

Energi yang dihasilkan kompor LPG tidak seluruhnya digunakan untuk penyulingan, tetapi ada sebagian panas yang hilang ke lingkungan melalui dinding ketel suling, pipa ketel ke kondensor dan tutup ketel suling.

a. Kehilangan energi dinding ketel suling

Kehilanagan energi melalui dinding ketel suling dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$Q_k = h\ A_k\ (T_{ok} - T_u)$ .....(1)

Dimana :

Q_k = Panas yang hilang melalui dinding ketel suling, kJ

H = Koefisien konveksi udara lingkungan, W/m^2K

A_k = Luas permukaan dinding ketel, m^2

T_{ok} = Suhu dinding luar dinding ketel, K

T_u = Suhu udara lingkungan, K

Nilai h dapat dicari dengan persamaan :

$h = \frac{N_{Nu}\ k}{L_k}$ .....(2)

Dimana :

N_{Nu} = Angka Nusselt

k = Konduktivitas panas udara lingkungan, W/mK

L_k = Tinggi ketel suling, m

Menurut McCabe (1986), N_{Nu} pada silinder tegak dapat dicari dengan persamaan :

$N_{Nu} = 0{,}59\ (N_{Gr}N_{Pr})^{0{,}25}$ .....(3)

Untuk jangkauan $10^4 < N_{Gr}N_{Pr} < 10^9$, atau

$N_{Nu} = 0{,}13(N_{Gr}N_{Pr})^{0{,}333}$ .....(4)

Untuk jangkauan $10^9 < N_{Gr}N_{Pr} < 10^{12}$

Nilai N_{Gr} dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{Gr} = \frac{L^3 \rho^2 \beta g \Delta T}{\mu^2} \quad \text{.....(5)}$$

Dimana :

L^3 = Tinggi dinding ketel suling, m

ρ^2 = Densitas udara, kg/m^3

β = Koefisien ekspansi termal, 1/K

g = Percepatan gravitasi, m/s

ΔT= Perbedaan suhu permukaan dinding ketel suling dan udara, K

$\mu 2$ = viskositas udara, kg/m s

Nilai N_{pr} dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{Pr} = \frac{C_P \mu}{k} \quad \text{.....(6)}$$

Dimana :

C_p = Kalor spesifik udara, Joule/kg °C

μ = Viskositas udara, kg/m s

k = Konduktifitas panas udara lingkungan, W/mK

b. Kehilangan energi pada pipa penghubung

Pada penyulingan yang di rancang hanya terdapat satu pipa penghubung yang berposisi horizontal.

Kehilangan energi panas melalui pipa horizontal penghubung ketel dengan kondensor dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$Q_p = h\ A_p\ (T_{op} - T_u)$ .....(7)

Dimana :

Q_p = Panas yang hilang melalui pipa, kj

h = Koefisien konveksi udara lingkungan, W/m^2K

A_p= Luas permukaan luar pipa, m^2

T_{op} = Suhu dinding luar pipa, K

T_u= suhu udara lingkungan, K

Nilai h dapat dicari dengan persamaan :

$h = \frac{N_{Nu}\ k}{L_k}$ .....(8)

Dimana :

NNu = Angka Nusselt

K = Konduktivitas panas udara lingkungan, W/mK

Dop = Diameter pipa uap, m

Menurut McCabe (1986), N_{Nu} pada silinder tunggal horizontal dengan nilai $N_{Gr}N_{Pr} = 10^4$ atau lebih dapat dicari dengan persamaan:

$N_{Nu} = 0{,}53\ (N_{Gr}N_{Pr})^{0,25}$ .....(9)

Nilai N_{Gr} dapat dicari dengan persamaan :

$N_{Gr} = \frac{D^3 \rho^2\ \beta\ g\ \Delta T}{\mu^2}$ .....(10)

Dimana :

D^3 = Diameter pipa uap, m

ρ^2 = Densitas udara, kg/m^3

β = Koefisien ekspansi termal, 1/K

g = percepatan gravitasi, m/s

ΔT= Perbedaan suhu permukaan dinding ketel suling dan udara, K

$_{\mu}2$ = viskositas udara, kg/m s

Nilai N_{pr} dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{Pr} = \frac{C_P\,\mu}{k} \quad \text{.....(11)}$$

Dimana :

C_p = Kalor spesifikasi udara, Joule/kg ^oC

μ = Viskositas udara, kg/m s

k = Konduktifitas panas udara lingkungan, W/mK

c. Kehilangan energi melalui tutup ketel suling

Kehilangan energi melalui tutup ketel suling dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$Q_t = h\ A_t(T_{ot} - T_u)$ .....(12)

Dimana :

Q_t = Panas yang hilang melalui pipa, kj

H = Koefisien konveksi udara lingkungan, W/m^2K

A_k = Luas permukaan dinding ketel, m^2

T_{ot} = Suhu dinding luar dinding ketel, K

T_u = Suhu udara lingkungan, K

Nilai h dapat dicari dengan persamaan :

$$h = \frac{N_{Nu}\,k}{D_{op}} \quad \text{.....(13)}$$

Dimana :

N_{Nu}= Angka Nusselt

K = Konduktivitas panas udara lingkungan, W/mK

D_{op} = Tinggi ketel suling, m

Menurut McCabe (1986), N_{Nu} pada plat horizontal yang di panaskan menghadap ke atas dapat dicari dengan persamaan :

$N_{Nu} = 0{,}54\ (N_{Gr}N_{Pr})^{0{,}25}$ .....(14)

Untuk jangkauan $10^5 < N_{Gr}N_{Pr} < 10^7$, atau

$N_{Nu} = 0{,}14(N_{Gr}N_{Pr})^{0{,}333}$ .....(15)

Untuk jangkauan $2x10^7 < N_{Gr}N_{Pr} < 3x10^{10}$

Nilai N_{Gr} dapat dicari dengan persamaan :

$N_{Gr} = \frac{D^3 \rho^2 \beta g \Delta T}{\mu^2}$.....(16)

D^3= Diameter tutup ketel, m

ρ^2= Densitas udara, kg/m^3

β = Koefisien ekspansi termal, 1/K

g = Percepatan gravitasi, m/s

ΔT= Perbedaan suhu permukaan dinding ketel suling dan udara, K

$\mu 2$= viskositas udara, kg/m s

Nilai N_{pr} dapat dicari dengan persamaan :

$N_{Pr} = \frac{C_P \mu}{k}$.....(17)

Dimana :

C_p= Kalor spesifik udara, Joule/kg °C

μ =Viskositas udara, kg/m s

k =Konduktifitas panas udara lingkungan, W/mK

2. Kehilangan Energy Radiasi

Kehilangan energy radiasi pada alat penyuling dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$Qrad = \sigma \varepsilon A (T_p^4 - T_t^4)$ .....(18)

Dimana :

Q = energy yang dipancarkan permukaan, W

ε = emisitivitas permukaan

σ = konstanta Stefan-boltzman 5.672 x 10^{-8} W/m Δ^oK

A = luas permukaan, m^2

T_p = suhu permukaan, ^{o}K

T_l = suhu lingkungan, ^oK (Zemsky, 1994)

3. Efisiensi ketel suling

Efisiensi ketel suling dapat dihitung dengan persamaan :

$$Efesiensi\ Ketel\ Suling = \frac{Q_u}{Q_b} \text{ x } 100\ \% \quad \text{.....(19)}$$

Energy yang digunakan untuk menguapkan air dapat dihitung dengan persamaan :

$Q_u = m_c \text{ x } Cp(T_d - T_a) + m_u \text{ x } H$ .....(20)

Dimana :

Q_u = energy untuk menguapakan air, kj

Cp = panas jenis air, kj/kg^oC

T_d = titik didih air, ^oC

T_a = suhu air awal, ^oC

m_u= jumlah air yang diuapkan, lt

m_c= jumlah uap yang dihasilkan, lt

H = panas laten penguapan, kj/kg

Energy yang dihasilkan oleh bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan :

$Q_b = m_t \text{ x } U$ .....(21)

Dimana :

Q_b = energy yang dihasilkan bahan bakar, kJ

m_t = jumlah pemakaian bahan bakar, kg

U = nilai bahan bakar, kJ/kg

4. Efisiensi kondensor

Efisiensi kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Efesiensi\ Kondensor = \frac{energi\ yang\ diserap\ air\ pendingin}{energi\ yang\ dilepas\ uap\ air} \text{ x } 100\ \% \quad \text{.....(22)}$$

Energy yang lepas oleh uap dapat dihitung dengan persamaan :

$Q = Quap - Qpipa$ .....(23)

Q = energi yang lepas uap air, KJ

Quap = energy yang keluar dari ketel suling, KJ

Qpipa= kehilangan panas di pipa penghubung dengan kondensor, KJ

Sedangkan energy yang diserap air pendingin adalah :

$Q = U\ A\ \Delta T_{LMTD}$ .....(24)

Dimana :

Q = energy yang dilepas oleh uap air, J

U = konstanta pindah panas kondensor, W/m^2.K

A = luas area pindah panas kondensor, m^2

ΔT_{LMTD}= selisih suhu rataan logaritmik, ^oK