

## **RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI PADA PROSES PENYULINGAN MINYAK PALA UNTUK OPTIMASI ENERGI**

**Syamsul<sup>1)</sup>, Rudi Syahputra<sup>2)</sup> dan Suherman<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, PNL, Lhokseumawe

<sup>2)</sup> Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, PNL, Lhokseumawe

<sup>3)</sup> Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, PNL, Lhokseumawe

email : syamsul0466@gmail.com<sup>1)</sup>, rudi.syahputra75@gmail.com<sup>2)</sup>, suherman\_msi@gmail.com<sup>3)</sup>

### **ABSTRAK**

Salah satu komoditas yang paling banyak diperdagangkan dari buah pala (*Myristica fragrans* houtt) adalah minyak pala yang berasal dari buah pala. Harga minyak pala dipasaran dunia sangat ditentukan oleh kualitas minyak pala yang dihasilkan. Proses penyulingan (distilasi) agar dapat menghasilkan minyak pala yang berkualitas baik memerlukan pengaturan suhu dan tekanan uap tepat. Sistem penyulingan minyak pala yang ada sudah banyak digunakan tetapi permasalahan yang masih terjadi adalah sistem penyulingan minyak pala belum memperhitungkan energi yang digunakan secara optimal. Diperlukan suatu sistem modifikasi menggunakan kontrol agar pengaturan kebutuhan energi dalam proses penyulingan dapat dikendalikan. Optimalisasi pemakaian energi akan berdampak pada solusi alternatif penggunaan bahan bakar berbasis energi listrik terbarukan dapat diterapkan pada sistem penyulingan. Untuk melakukan optimalisasi penggunaan energi dilakukan dengan mendesain sistem kontrol berbasis elektronik terhadap parameter yang dominan yaitu suhu dan tekanan uap dan berat buah pala yang akan disuling. Suhu dan tekanan uap saling berkaitan pada sistem ini, perubahan suhu seiring dengan perubahan tekanan uap. Jarak bahan dengan uap air perlu dikontrol agar berjarak tetap agar tekanan uap pada bahan tetap tinggi. Untuk mendapatkan sistem seperti ini dilakukan penelitian dan penelitian dibagi dua tahap yaitu tahap satu pembuatan sistem dengan fokus pada sistem kontrol untuk mendapatkan optimasi energi dan tahap dua mengganti sumber energi berbasis bahan bakar pada sistem dengan sumber energi alternatif lainnya. Sistem penyulingan minyak pala hasil penelitian ini sudah mampu mengendalikan suhu dan tekanan secara otomatis. Pengontrolan yang dilakukan dengan mengendalikan katup bahan bakar (digunakan gas) sehingga diperoleh optimasi penggunaan energi sebesar 14,87%.

**Kata kunci:** *penyulingan(distilasi), pengontrolan, suhu, tekanan, optimasi energi*

### **I. PENDAHULUAN**

Komoditas ekspor Indonesia saat ini masih didominasi oleh hasil-hasil pertanian berupa bahan mentah maupun sudah berupa hasil olahan. Salah satu komoditas ekspor tersebut adalah minyak pala. Ekspor minyak yang terus meningkat ini menunjukkan bahwa kebutuhan dunia akan minyak pala juga terus bertambah. Harga minyak pala yang terus membaik juga menjadikan komoditas ini semakin diminati oleh petani. Di Indonesia tanaman pala banyak ditemukan di propinsi Aceh terutama di Kabupaten Aceh Selatan dan Kabupaten Bireuen. Demikian juga dengan proses penyulingan minyak pala juga banyak dijumpai di kedua Kabupaten ini. Proses penyulingan yang ada dapat menyebabkan kualitas minyak pala memiliki kualitas yang kurang baik sehingga dapat menyebabkan turunnya harga jual dipasaran.

Proses produksi minyak pala dari buah pala yang berupa biji dan fuli dapat dilakukan dengan cara penyulingan (distilasi). Proses penyulingan yang ada umumnya menggunakan cara penguapan langsung dengan pengaturan tekanan uap dilakukan secara manual. Kekurangan dari cara ini adalah operator

penyulingan harus sangat memperhatikan fase-fase proses penyulingan agar minyak pala yang dihasilkan tetap bermutu baik. Aroma minyak pala sangat tergantung dari proses pengaturan uap yang dialirkan dari boiler. Kekurangan lainnya dari sistem yang ada saat ini adalah optimasi energi belum dikontrol secara elektronis secara tepat untuk menentukan lama waktu penyulingan. Sumber energi yang digunakan dalam proses penyulingan (distilasi), berasal dari BBM (bahan bakar minyak), BBG (bahab bakar gas), kayu bakar dan energi listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara), yang merupakan sumber energi kurang ramah lingkungan dan ketersediaannya dapat terganggu sewaktu-waktu.

Permasalahan-permasalahan dalam proses penyulingan (distilasi) minyak pala secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem penyulingan (distilasi) minyak pala yang ada saat ini ditinjau dari penyerapan energi pada saat proses ekstraksi masih cukup besar, hal ini dapat dilihat dari lamanya waktu penyulingan.
2. Proses penyulingan belum menggunakan sistem pengaturan yang berbasis elektronik, sehingga masih dibutuhkan tenaga operator yang harus

memantau secara cermat sepanjang waktu proses penyulingan minyak pala.

3. Kebutuhan energi untuk proses penyulingan secara keseluruhan masih bersumber dari energi listrik, BBM, BBG, dan kayu bakar yang mahal dan tidak ramah lingkungan, padahal sumber energi alternatif cukup tersedia seperti sumber energi surya.

Tujuan penelitian ini secara umum adalah menghasilkan minyak pala yang bermutu baik agar komoditas ini memiliki nilai jual tinggi dipasaran lokal dan dunia dan menjaga kesinambungan pasokan komoditas minyak pala serta meningkatkan kuantitas minyak pala yang dihasilkan. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem penyulingan (distilasi) minyak pala yang memiliki pengaturan secara elektronik dan dapat diset ulang jika diperlukan perubahan parameter seperti suhu dan lamanya waktu penyulingan.
2. Mengurangi biaya untuk kebutuhan energi listrik dalam proses penyulingan (distilasi) minyak pala, dimana lama waktu penyulingan dioptimalkan sesuai dengan berat/jumlah buah pala yang akan diekstrak dan tekanan uap yang diberikan.
3. Mereduksi sumber energi listrik yang ada selama ini dengan sumber energi alternatif yaitu sumber energi surya, terutama untuk sistem pengaturan dan penerangannya.
4. Meningkatkan produktivitas baik kuantitas dan mutu minyak pala yang dihasilkan.

Urgensi (keutamaan) penelitian ini proses penyulingan (distilasi) minyak pala adalah kebutuhan akan energi baik energi yang diperoleh dari listrik PLN maupun sumber energi lainnya seperti BBM, BBG dan kayu bakar sangat tinggi dan mahal. Kenaikan biaya dari komponen ini, akan menyebabkan penurunan pendapatan dari pengelola industri pengolahan minyak pala yang pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan harga buah pala mentah. Oleh karena itu optimasi energi terutama energi listrik diperlukan agar biaya produksi dapat berkurang, salah satu adalah dengan cara melakukan pengaturan pada proses penyulingannya. Pengaturan dilakukan secara elektronik yaitu menggunakan mikrokontroler yang mudah digunakan dan cocok diaplikasikan pada sistem-sistem pengaturan (kendali).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 State of the art

Penelitian-penelitian yang akan dijadikan acuan dan referensi dalam penelitian ini adalah: memodifikasi proses penyulingan dengan mengatur tekanan uap untuk mendapat rendemen dan aroma minyak pala yang lebih baik. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini modifikasi penyulingan dengan tekanan awal 0 atm selama 4 jam, 0,5 atm selama 4

jam dan 1,5 atm selama 4 jam menghasilkan rendemen minyak tertinggi 15,30%[5], merancang dan membuat alat pengolah minyak pala dengan titik berat penelitian desain alat penyulingan pada penyuplai/pemasok air pada boiler menggunakan air panas untuk mengurangi biaya bahan bakar (energi). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada penyulingan selama 24 jam hampir seluruh minyak dalam biji pala sudah tersuling (91,4%) sehingga secara teknis kinerja alat penyuling yang diperbaiki cukup memadai. Bila pada penyulingan tradisional lama penyulingan bisa lebih dari 30 jam, dengan alat yang sudah diperbaiki waktu penyulingan yang masih dianggap ekonomis yaitu penyulingan sampai 22 jam. Kadar myristisin dalam minyak hasil penyulingan 24 jam menjadi cukup tinggi (9,37%)[3], dan mendesain prototipe alat penyulingan minyak yang dapat mengefisienkan kebutuhan bahan bakar kayu dengan cara mengurangi waktu penyulingan. Hasil penelitiannya adalah menurunkan lamanya waktu penyulingan dari 30 jam menjadi 14 jam dengan didapatkan minyak dengan karakteristik yang sesuai dengan SNI 06-2388-2006 tentang Minyak Pala. Respon gabungan nilai bobot jenis 0,904, indeks bias 1,478, kelarutan etanol 90% pada suhu 20°C sebesar 1:1, putaran optik (+)16,8°, dan sisa penguapan 0,7%. Standar minyak pala pada SNI untuk bobot jenis 0,880-0,910, indeks bias 1,470 - 1,497, kelarutan etanol 90% pada suhu 20°C 1:3 dan seterusnya jernih, putaran optik (+)8° - (+)25° dan sisa penguapan 0,7%[4].

### 2.2 Komoditas minyak pala

Pala (*Myristica fragrans* Houtt) tumbuh di daerah tropis, dan di Indonesia banyak terdapat di Propinsi Aceh, Sumatera Barat, Lampung dan Maluku. Tanaman pala memiliki buah berbentuk bulat, berwarna hijau kekuning-kuningan buah ini apabila masak terbelah dua. Garis tengah buah berkisar antara 3-9 cm, daging buahnya tebal dan asam rasanya. Biji berbentuk lonjong sampai bulat, panjangnya berkisar antara 1,5-4,5 cm dengan lebar 1-2,5 cm. Kulit biji berwarna coklat dan mengkilat pada bagian luarnya. Kernel biji berwarna keputih-putihan, sedangkan fulinya berwarna merah gelap dan kadang-kadang putih kekuning-kuningan dan membungkus biji menyerupai jala[3]. Komoditas pala di Indonesia sebagian besar dihasilkan oleh perkebunan rakyat (98%) yang jarang dipelihara. Produk dari pala (biji, fuli dan minyak pala) telah diekspor ke lebih dari 30 negara. Adapun negara-negara pengimpor utama produk pala antara lain adalah Singapura, Belanda, Hongkong, Jepang, Belgia, Malaysia, Amerika Serikat, Perancis, India, Italia, Jerman, dan Thailand. Hasil yang diambil dari pala dan paling banyak diperdagangkan di pasaran dunia adalah biji dan fuli minyak pala. Persentase dari komponen-komponen bervariasi dipengaruhi oleh klon, mutu dan lama penyimpanan serta tempat

tumbuh. Kandungan minyak lemak dari biji pala utuh bervariasi dari 25 sampai 40%, sedangkan pada fuli antara 20 sampai 30%. Biji pala mengandung minyak atsiri sekitar 2-16% dengan rata-rata pada 10% dan *fixed oil* (minyak lemak) sekitar 25-40%, karbohidrat sekitar 30% dan protein sekitar 6%. Biji pala mutu baik mengandung minimum 25% ekstrak eter tidak mudah menguap, maksimum 10% serat kasar dan maksimum 5% kadar abu. Sedangkan untuk fuli disyaratkan maksimum 0,5% kadar abu tidak larut dalam asam dan kandungan eter tidak mudah menguap berkisar antara 20 – 30%.

**2.3 Penyulingan (distilasi) minyak pala**

Penyulingan atau distilasi adalah suatu perubahan cairan menjadi uap dan uap tersebut kemudian didinginkan menjadi cairan kembali. Syarat utama dalam fasa pemisahan komponen-komponen dengan metode distilasi adalah komposisi uap harus berbeda dari komposisi cairan dengan terjadinya keseimbangan larutan-larutan komponen-komponennya cukup dapat menguap. Suhu cairan yang mendidih merupakan titik didih cairan tersebut pada tekanan atmosfer yang digunakan[8].

Untuk mendapatkan minyak pala ada beberapa proses yang dapat dilakukan antara lain:

1. Metode perebusan: Bahan yaitu biji dan fuli pala dimasukkan di dalam air kemudian direbus sampai mendidih. Minyak atsiri akan menguap bersama uap air, kemudian dilewatkan melalui kondensor untuk kondensasi. Alat yang digunakan untuk metode ini disebut alat suling perebus.
2. Metode pengukusan: Bahan yaitu biji dan fuli pala dikukus di dalam ketel atau pengukus. Minyak pala akan menguap dan terbawa oleh aliran uap air yang dialirkan ke kondensor untuk kondensasi. Alat yang digunakan untuk metode ini disebut suling pengukus.
3. Metode uap langsung: Bahan yaitu biji dan fuli pala dialiri dengan uap yang berasal dari ketel pembangkit uap. Minyak atsiri akan menguap dan terbawa oleh aliran uap air yang dialirkan ke kondensor untuk kondensasi. Alat yang digunakan untuk metode ini disebut alat suling uap langsung.

Jumlah minyak yang menguap bersama-sama uap air ditentukan oleh 3 faktor, yaitu: besarnya tekanan uap yang digunakan, berat molekul dari masing-masing komponen dalam minyak dan kecepatan minyak yang keluar dari bahan[7].

Peralatan yang biasanya digunakan dalam penyulingan terdiri atas: ketel suling, bak pendingin (kondensor), labu pemisah minyak (*florentine flask*), dan ketel uap (*steam boiler*)[1,2].

Peralatan-peralatan inilah yang menjadi salah satu faktor penentu rendemen minyak atsiri. Waktu penyulingan minyak pala hingga semua minyak

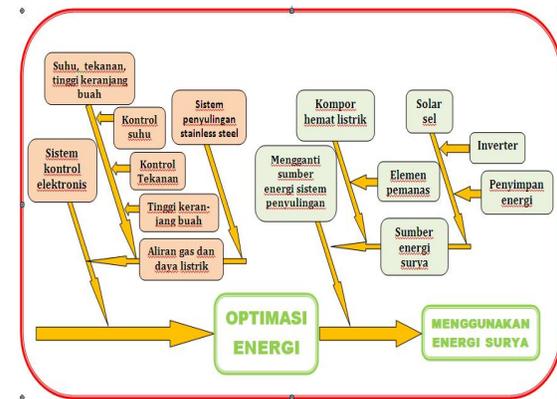
tersuling habis rata-rata 24 jam untuk biji pala dan 48 jam untuk fuli[6].

Proses distilasi normal menggunakan tekanan atmosfer, dimana titik didih campuran cukup besar perbedaannya, sehingga proses pemisahannya mudah dilakukan. Pengaruh tekanan, suhu dan lama penyulingan, pada proses penyulingan (distilasi) sangat menentukan. Pengaruh tekanan lebih kecil atau sama dari 1 atm akan terkondensasi kembali menjadi air pada tumpukan bahan, sedangkan tekanan melebihi 1 atm, akan berpenetrasi ke dalam bahan secara efektif, dan peristiwa kondensasi dalam ketel penyulingan berkurang. Perbandingan jumlah air yang tersuling dengan jumlah minyak atsiri (termasuk minyak pala) yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh variasi tekanan[3].

Pengaruh suhu pada proses penyulingan adalah pada kualitas minyak yang dihasilkan. Penyulingan dapat dilakukan pada suhu rendah atau suhu tinggi, tetapi dijaga agar waktunya sesingkat mungkin. Lamanya penyulingan dapat mempengaruhi kontak air dan bahan, semakin lama waktu penyulingan menyebabkan banyak rendemen minyak yang dihasilkan dan juga memperbesar penguapan fraksi yang bertitik didih tinggi[3].

**III. METODE PENELITIAN**

Untuk lebih jelasnya penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada diagram gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Fishbone diagram penelitian

Berdasarkan *fishbone diagram* gambar 3.1, penelitian dimulai dari merancang dan membuat sistem kendali berbasis logika fuzzy yang ditanamkan pada mikrokontroler. Adapun parameter-parameter yang dapat dikendalikan adalah tekanan, temperatur (suhu) dan banyak buah pala yang akan disuling pada ketel penyulingan, akan menentukan waktu dan energi yang dibutuhkan boiler proses penyulingan. Pada penelitian ini kendali dirancang dan diset optimal untuk setiap perubahan parameter tersebut dalam kebutuhan waktu

penyulingan. Jika banyak buah yang akan dimasak menurun, maka waktu penyulingan akan lebih cepat dibandingkan pada keadaan normal. Optimasi penggunaan energi pada proses penyulingan minyak pala pada penelitian ini tidak mempersingkat waktu penyulingan tetapi mengendalikan penggunaan bahan bakar (dalam hal ini BGG=bahan bakar gas) sehingga suhu pada boiler dan ketel penyulingan terjaga pada range 110°C-120°C (suhu yang paling baik untuk prsoses Penyulingan untuk mendapatkan minyak pala yang baik).

### 3.1 Realisasi alat penyulingan minyak pala

Alat penyulingan minyak pala terdiri dari boiler dan ketel penyulingan berbahan *stainless steel*, sistem pendingin berbahan *stainless steel*, Keranjang buah berbahan *stainless steel*, separator berbahan *stainless steel*, kompor gas dan rak alat.

#### Ketel Penyulingan

Ketel penyulingan ukuran dan dimensi diperlihatkan pada gambar 3.2. Pada ketel penyulingan uap dialirak melalui pipa ke sistem pendingin. Monitoring tekanan disediakan untuk melihat besarnya tekanan. Sensor suhu/temperatur ditempelkan pada dinding bagian atas ketel penyulingan yang dihubungkan ke bagian kontrol dari sistem penyulingan. Kapasitas penyulingan alat ini adalah 15 kg buah pala kering.



Gambar 3.2 Ketel penyulingan

#### Keranjang Buah

Keranjang buah didesain bertingkat bertujuan untuk meningkatkan optimasi penguapan sehingga akan menghemat penggunaan bahan bakar/energi. Pengaturan ketinggian keranjang buah terhadap level air pada ketel penyulingan selama proses penyulingan dapat dikontrol secara otomatis hingga saat ini masih manual.



Gambar 3.3 Rak/Keranjang Buah

#### Sistem Pendingin

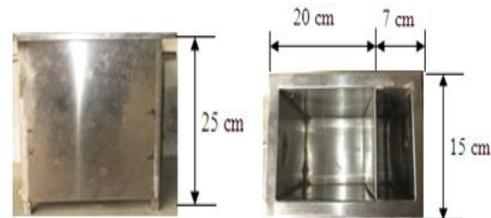
Sistem pendingin diperlihatkan pada gambar 3.4, dimensi dan ukuran sangat menentukan proses pendingiap uap hasil penyulingan dan dialirkan pada bagian pemisah (*separator*). Pengontrolan diperlukan pada bagian ini agar sistem pendingin tetap memiliki suhu yang diinginkan dengan mengalirkan air pengganti pada tabung sistem pendingin.



Gambar 3.4 Sistem pendingin

#### Separator

Separator merupakan bagian pemisah uap yang keluar dari ketel penyulingan menjadi minyak dan air. Pada sperator perbedaan berat jenis air dan minyak hasil penyulingan dialirkan ke penampungan masing-masing. Ukuran dan dimensi separator diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Separator

Bagian lainnya adalah kompor pemanas boiler dan rak untuk penyangga alat penyulingan. Bentuk dan ukuran disesuaikan dengan disesuaikan dengan kondisi yang ada.

### 3.2 Realisasi sistem kendali pada alat penyulingan minyak pala

Setelah sistem Penyulingan minyak pala direalisasikan sesuai ukuran dan dimensi yang diinginkan kemudian direalisasikan sistem kontrol yang akan diterapkan pada alat tersebut. Sistem kontrol yang dirancang adalah sistem kontrol elektronik menggunakan mikrokontroler (Atmega8535). Pengontrolan dengan menempelkan sensor suhu pada ketel penyulingan. Sensor suhu digunakan sensor yang tahan terdapat panas hingga 150°C dan tahan terhadap uap air. Respon dari sensor

suhu dibaca oleh mikrokontroler dan memberikan aksi berupa memperbesar dan memperkecil katup penyaluran gas ke kompor pemanas. Gambar 3.6 memperlihatkan sistem kontrol pada alat Penyulingan.



Gambar 3.6 Sistem Kendali pada alat penyulingan

Pengaturan suhu pada alat Penyulingan dijaga pada jangkauan 110°C-120°C yang sesuai dengan tekanan uap 3 bar. Jika sensor suhu merespon suhu 120°C, katup gas menutup hingga pengaturan gas pada posisi 10% dan jika suhu pada ketel penyulingan menurun akibat pemanasan dari kompor yang kecil sudah mencapai 110°C katup penyaluran gas akan membuka maksimum 100%. Dengan demikian akan terjadi optimasi penggunaan bahan bakar. Pada sistem ini pengaturan suhu maksimum dan minimum pada sistem penyulingan dipermudah dengan pengaturan menggunakan keypad dan display. Dan mengatur waktu penyulingan secara otomatis disediakan masukan melalui keypad ke sistem kontrol dengan setting sesuai jumlah buah pala yang akan disuling.

Sensor suhu juga ditempelkan pada tabung sistem pendingin untuk mengontrol suhu air pada sistem penyulingan. Suhu sistem pendingin dijaga pada jangkauan kurang dari 50°C dan jika suhu sudah mencapai suhu 50°C air dialirkan pada tabung pendingin hingga suhu mencapai suhu air.

Untuk mendapat optimasi pemakaian bahan bakar (dalam sistem penyulingan minyak pala ini adalah gas), maka parameter-parameter ketiga yang perlu dikontrol adalah level ketinggian air pada ketel penyulingan terhadap keranjang buah. Level ketinggian ini akan terus meningkat seiring dengan lamanya waktu penyulingan. Untuk itu perlu dikontrol secara otomatis agar ketinggian tetap sesuai dengan perhitungan.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang sudah dilakukan seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.1. Gambar 4.1 merupakan sistem penyulingan minyak pala hasil penelitian. Sistem ini terdiri dari ketel penyulingan dimana pada ketel penyulingan ini terdapat keranjang buah yang bertingkat dimaksudkan agar proses penguapan dapat di atur sesuai dengan banyak buah

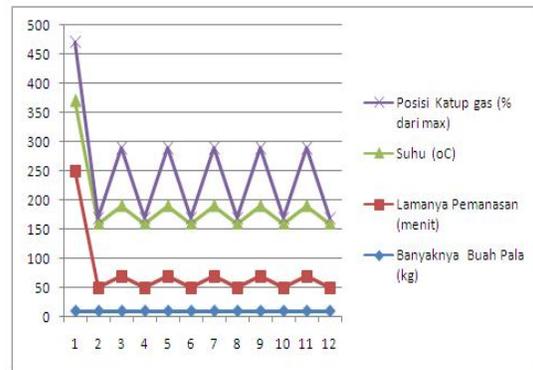
dan banyak air dalam ketel Penyulingan. Pada ketel penyulingan sistem pengaturan keranjang buah masih dilakukan secara manual. Pengontrolan suhu dan tekanan pada ketel penyulingan dilakukan dengan menambah sensor suhu dan monitoring tekanan. Pemanasan pada ketel penyulingan menggunakan kompor gas dengan menggunakan bahan bakar gas.



Gambar 4.1 Alat penyulingan minyak pala hasil penelitian

Bagian pendingin merupakan bagian pendingin uap air yang bercampur minyak dari ketel penyulingan dan mengalir ke bagian pemisah (*separator*). Bagian sistem kendali mengontrol suhu pada ketel penyulingan dan menurangi aliran gas ke kompor gas jika suhu maksimum yang diseting sudah tercapai. Dengan demikian jumlah gas yang digunakan pada proses pemanasan boiler pada ketel penyulingan berkurang.

Berikut ini data hasil pengujian selama 13 jam proses penyulingan minyak pala seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik optimasi energi pada proses Penyulingan minyak pala

Dari gambar 4.2, dapat dihitung optimasi penggunaan bahan bakar gas (BBG) pada proses penyulingan 10 kg minyak pala adalah sebagai berikut: Lamanya waktu pemanasan dengan BBG maksimum adalah 640 menit dari total waktu 780 menit. Lamanya waktu pemanasan dengan BBG minimum adalah 240 menit dari total waktu 780 menit. Sehingga total efisiensi penggunaan bahan bakar gas (BBG) adalah:

$$100\% - \frac{640 \text{ menit} \times 100\% + 240 \text{ menit} \times 10\%}{780 \text{ menit} \times 100\%} = 14,87\%$$

Pada penelitian ini menggunakan tabung gas 12 kg, gas yang digunakan selama 13 jam (780 menit) proses penyulingan minyak pala adalah 7 kg dari 8,22 kg gas yang seharusnya. Optimasi penggunaan gas ini masih dapat ditingkatkan dengan menerapkan pengaturan posisi jarak keranjang buah pala dalam ketel penyulingan dengan air pada boiler. Pengaturan dapat dilakukan dengan menjaga posisi keranjang buah pala selalu tetap terhadap air pada boiler.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan kegiatan penelitian ini adalah:

1. Alat penyulingan minyak pala hasil penelitian berkapasitas 15 kg buah pala kering dilengkapi dengan sistem pengontrolan suhu pada ketel penyulingan dan sistem pendingin.
2. Output dari sistem kontrol pada alat penyulingan ini adalah optimasi penggunaan bahan bakar gas yang digunakan.
3. Optimasi yang diperoleh dari pengujian adalah 14,87 % dari total energi yang digunakan tanpa sistem pengontrolan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ketaren, S, 1985, *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*, Balai Pustaka, Jakarta.
- [2] McCabe, Warren L, Julian C. Smith, and Petter Hriott, 2001, *Unit Operations of Chemical Engineering*, Mc Graaw-Hill Companies, Inc Primis Custom Publisising.
- [3] Nurdjannah Nanan, 2007, *Teknologi Pengolahan Pala*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- [4] Prasetyo Dinar Andri, 2009, *Efisiensi Energi dan Kinerja Prototipe Alat Penyulingan Minyak Pala Berbahan Bakar Kayu*, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [5] Sakiah Siti, 2006, *Modifikasi Proses Penyulingan dengan Variasi Tekanan Uap untuk*

*Memperbaiki Karakteristik Aroma Minyak Pala*, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

- [6] Rismunindar, 1992, *Budidaya dan Tata Niaga Pala*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- [7] Satyadiwiria, Y, 1979, *Pembuatan Minyak Atsiri*, Dinas Pertanian, Medan.
- [8] Schaneberg. B.T dan Ikhlas A. Khan, 2002, *Comparison of methods for marker compound in essential oil of lemon grass by GC*. *Journal of Agricultural and food chemistry*, The Univercity of Misisippi, USA.