

**Analisis Efisiensi Kebutuhan *Steam* Pada Penentuan Jenis Bahan Bakar *Boiler* Menggunakan Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process***

**(Studi Kasus : PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*))**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Naufal Arkhan Hadiano  
No. Mahasiswa 19522178

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2024**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah, saya mengakui karya ini ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika di kemudian harinya ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 Maret 2024



(Naufal Arkhan Hadiano)  
19522178

## SURAT BUKTI PENELITIAN



PT. BUMI PRATAMA KHATULISTIWA

*Excellent & Trustworthy*

### SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Melalui surat ini kami informasikan Bahwa Mahasiswa :

Nama : Naufal Arkhan Hadianto

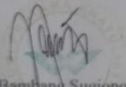
Nim : 19522178

Telah menyelesaikan kegiatan Penelitian dari tanggal 25 Septembers/d 25 Oktober 2023 di PT Bumi Pratama Khatulistiwa (PKS).

Demikian surat ini kami buat dan dapat di pergunakan sebagaimana mestinya.

Sui Tempayan, 30 Januari 2024

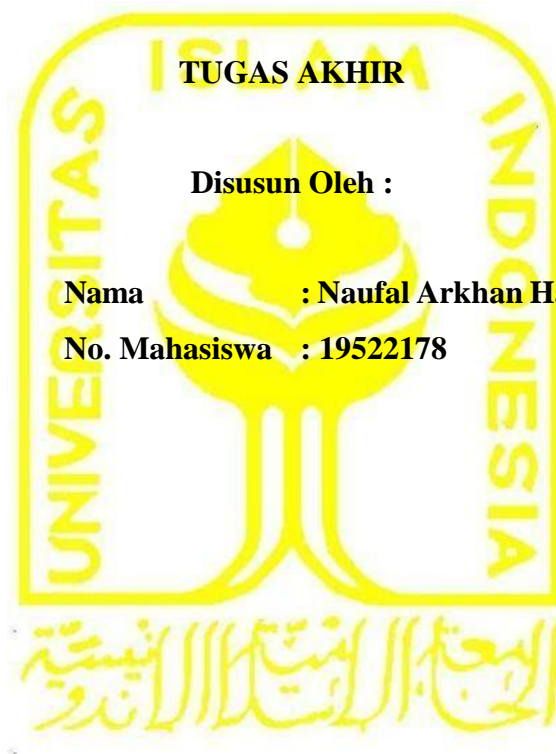
Hormat kami,

Bambang Sugiono  
PGA

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**Analisis Efisiensi Kebutuhan *Steam* Pada Penentuan Jenis Bahan Bakar *Boiler* Menggunakan Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (Studi Kasus : PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*))**



**Yogyakarta, 20 Maret 2024**

**Dosen Pembimbing**

**(Dr. Ir. Dwi Handayani, S.T., M.Sc., IPM.)**

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**Analisis Efisiensi Kebutuhan *Steam* Pada Penentuan Jenis Bahan Bakar *Boiler* Menggunakan Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process***

**(Studi Kasus : PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*))**

## TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Naufal Arkhan Hadianto  
No. Mahasiswa : 19522178

Telah dipertahankan di depan sidang pengujian sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

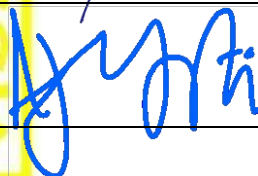
Yogyakarta, 20 Maret 2024

## Tim Penguji

Dr. Ir. Dwi Handayani, S.T., M.Sc., IPM  
Ketua

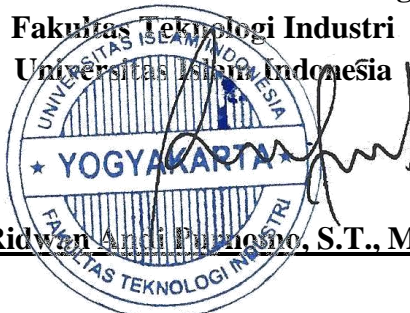
Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.  
Anggota I

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.  
Anggota II



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Anji Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Industri di Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan selesai tanpa dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang.

Skripsi ini penulis persembahkan untuk penulis itu sendiri Naufal Arkhan Hadianto yang telah berjuang untuk mengerjakan kewajiban menyelesaikan skripsi ini dengan sepenuh hati, ikhlas dan penuh ketekunan. Skripsi ini juga penulis persembahkan untuk kedua orang tua penulis bapak Rudy Hadianto yang selalu memberikan dukungan penuh dan memberikan arahan kepada penulis apa yang harus diprioritaskan yaitu menyelesaikan skripsi ini dan ibu Yuliati Indrayani yang selalu *mensupport* penulis melalui doa doa yang dirapalkan disetiap sholatnya serta kakak penulis yang bernama Tiara Fistihanny untuk memberi dukungan moral.

Akhir kata, penulis berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Semoga skripsi ini juga dapat memberikan inspirasi dan motivasi bagi pembaca yang membacanya.

## MOTTO

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."

(Q.S Al Insyirah: 5-6)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya..."

(Q.S Al Baqarah: 286)

"Bila kamu ingin hidup yang bahagia, terikatlah kepada tujuan, dan bukan orang atau benda"

(Albert Einstein)

"Dengan kekuatan yang besar, datanglah tanggung jawab yang besar"

(Paman Ben)

## KATA PENGANTAR

### *Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, inspirasi, dan bimbingan selama proses penulisan. Penyusunan tugas akhir merupakan salah satu prasyarat kelulusan untuk menyelesaikan program studi Strata 1 (S1), Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Karya ini bukanlah hasil individu semata, melainkan sinergi antara berbagai ide, pemikiran, dan kontribusi berharga dari teman-teman, keluarga, dan para ahli yang dengan ikhlas berbagi pengetahuan. Semua itu telah memberikan warna dan kedalaman yang tak ternilai pada setiap halaman karya ini.

Tidak lupa, penghargaan yang setinggi-tingginya saya tujukan kepada dosen pembimbing yaitu ibu Dr. Ir. Dwi Handayani, S.T., M.Sc., IPM. yang telah memberikan arahan dan panduan yang sangat berarti. Kritik dan saran yang diberikan telah membantu meningkatkan kualitas karya ini.

Akhir kata, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi pembaca. Kritik dan masukan yang bersifat membangun tetap saya harapkan guna penyempurnaan di masa mendatang. Terima kasih tak terhingga kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian karya ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua.

Kelancaran penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof., Dr., Ir., Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Dr. Ir. Dwi Handayani, S.T., M.Sc., IPM. selaku dosen pembimbing penulis, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berharga.
4. PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian disana.

5. Bapak Muhammad Yuswani selaku mentor dan pembimbing lapangan penulis selama melakukan penelitian di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM yang sangat membantu penulis dalam melakukan penelitian.
6. Seluruh karyawan PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM yang telah menerima dengan baik kedatangan penulis serta mau membantu penulis dalam pengambilan data.
7. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini, terutama kedua orang tua penulis yang bernama bapak Rudy Hadianto dan ibu Yulianti Indrayani serta kakak penulis yang bernama Tiara Fistianny dan juga semua keluarga penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan doanya.
8. Teman-teman Teknik Industri yang telah memberikan dukungan moral, semangat, dan bantuan dalam berbagai bentuk.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan. Terimakasih

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

## ABSTRAK

PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM merupakan pabrik industri yang memproduksi CPO (*crude palm oil*) atau minyak kelapa sawit mentah. Salah satu stasiun utama yang terdapat di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM yaitu adalah stasiun *boiler* yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap atau *steam* memerlukan bahan bakar berupa *fiber* (serat kelapa sawit) atau cangkang kelapa sawit dari hasil pengolahan di stasiun *nut and kernel*. Pada bahan bakar *boiler* itu sendiri juga memiliki nilai-nilai tersendiri dalam memenuhi kebutuhan *boiler*. Pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM penggunaan bahan bakar *boiler* menggunakan tiga bahan yaitu *fiber press cake*, *fiber empty bunch press*, dan *shell*. Di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, penggunaan dari ketiga bahan bakar *boiler* masih belum efisien. Penelitian ini bertujuan untuk pemilihan bahan bakar *boiler* yang lebih efisien saat digunakan. Penelitian ini menggunakan beberapa faktor yang digunakan sebagai kriteria untuk penilaian dari setiap jenis bahan bakar. Analisis terhadap hasil perhitungan menggunakan metode *fuzzy analytical hierarchy process* memberikan rekomendasi terhadap perusahaan yang dapat dilakukan agar bisa memilih bahan bakar *boiler* paling tepat/efisien. Adapun hasil perhitungan menggunakan *toolbox* Matlab berdasarkan dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain, berat bahan bakar yang digunakan, jumlah *steam* yang dihasilkan, dan harga jual dari bahan bakar *boiler*. Untuk bahan bakar jenis *fiber press cake* didapatkan hasil bahwa penggunaan bahan bakar jenis ini memiliki nilai skor 0.58758 yang berarti penggunaan bahan bakar termasuk jenis ini masuk kedalam kategori baik. Untuk bahan bakar jenis *fiber empty bunch press* memiliki nilai 0.5374 termasuk kedalam kategori baik. Untuk bahan bakar jenis *shell* memiliki nilai 0.44213 termasuk kedalam kategori cukup. Sehingga, melalui penelitian ini, rekomendasi yang dapat diberikan kepada perusahaan adalah agar perusahaan lebih mengutamakan untuk menggunakan bahan bakar jenis *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press*. Sehingga bahan bakar jenis *shell* dapat dijual ke perusahaan lain. Dengan nilai jual yang cukup tinggi diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis bagi perusahaan.

**Kata Kunci:** *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*, bahan bakar *boiler*, *fiber press cake*, *fiber empty bunch press*, *shell*, kelapa sawit

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>                 | <b>i</b>    |
| <b>SURAT BUKTI PENELITIAN .....</b>             | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>       | <b>iii</b>  |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....</b>     | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>                 | <b>v</b>    |
| <b>MOTTO .....</b>                              | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                      | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRAK .....</b>                            | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                          | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                       | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                       | <b>xiii</b> |
| <b><u>BAB I</u>.....</b>                        | <b>1</b>    |
| <b>PENDAHULUAN.....</b>                         | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                         | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                       | 5           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                      | 5           |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                     | 5           |
| 1.5 Batasan Penelitian .....                    | 6           |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                  | 6           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>             | <b>8</b>    |
| 2.1 Kajian Literatur .....                      | 8           |
| 2.2 Landasan Teori .....                        | 18          |
| 2.2.1 Kelapa Sawit.....                         | 18          |
| 2.2.2 Pengertian Boiler.....                    | 18          |
| 2.2.3 Manajemen Pengoperasian Bahan Bakar ..... | 19          |
| 2.2.4 AHP (Analytic Hierarchy Process) .....    | 21          |
| 2.2.5 F-AHP.....                                | 26          |

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 2.2.6 | Penerapan F-AHP dalam Matlab.....                                | 29        |
|       | <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                           | <b>40</b> |
| 3.1   | Lokasi dan Objek Penelitian.....                                 | 40        |
| 3.2   | Subjek Penelitian .....  | 40        |
| 3.3   | Sumber Data .....  | 40        |
| 3.4   | Metode Pengumpulan Data .....                                    | 40        |
| 3.5   | Alur Penelitian.....   | 41        |
|       | <b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>               | <b>47</b> |
| 4.1   | Pengumpulan Data.....  | 47        |
| 4.1.1 | Profil Perusahaan.....   | 47        |
| 4.1.2 | Tenaga Kerja .....   | 49        |
| 4.1.3 | Proses Produksi .....  | 50        |
| 4.2   | Pengolahan Data.....   | 53        |
| 4.2.1 | AHP .....  | 53        |
| 4.2.2 | Hubungan Logika <i>Fuzzy</i> dan AHP .....                       | 54        |
| 4.2.3 | Penerapan Metode <i>Fuzzy</i> dan AHP Pada Matlab .....          | 55        |
|       | <b>BAB V HASIL dan PEMBAHASAN .....</b>                          | <b>66</b> |
| 5.1   | Analisis <i>fuzzy Analytical Hierarchy Process</i> (F-AHP) ..... | 66        |
| 5.1.1 | Identifikasi Kriteria Penting .....                              | 66        |
| 5.1.2 | Penilaian Kriteria.....  | 68        |
| 5.1.3 | Evaluasi Alternatif.....   | 68        |
| 5.1.4 | Hasil Pengolahan Data Pada <i>Toolbox</i> Matlab .....           | 70        |
|       | <b>BAB VI PENUTUP .....</b>                                      | <b>72</b> |
| 6.1   | Kesimpulan.....  | 72        |
| 6.2   | Saran.....   | 73        |
|       | <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                       | <b>74</b> |
|       | <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>1</b>  |

**DAFTAR TABEL**

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu .....                                     | 16 |
| Tabel 2. 2 Penilaian Kepentingan Dua elemen .....                         | 22 |
| Tabel 2. 3 Matriks Perbandingan .....                                     | 23 |
| Tabel 2. 4 Perbandingan Nilai RC dengan Ukuran Matriks .....              | 26 |
| Tabel 2. 5 Skala TFN .....  | 27 |
| Tabel 2. 6 Tabel Data Objek dan Kriteria .....                            | 30 |
| Tabel 2. 7 Relasi antar Kriteria .....                                    | 30 |
| Tabel 4. 1 Jam Tenaga Kerja .....   | 49 |
| Tabel 4. 2 Fuzzifikasi Perbandingan Kepentingan antara dua Variabel ..... | 55 |
| Tabel 4. 3 Data Kriteria Bahan Bakar <i>Boiler</i> .....                  | 55 |
| Tabel 4. 4 Relasi antar Kriteria .....                                    | 57 |
| Tabel 4. 5 Pengelompokkan Kriteria Berdasarkan Nilai .....                | 64 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. 1 Kebutuhan <i>Steam</i> Per Tahun .....                              | 4  |
| Gambar 2. 1 Strukurur Hirarki .....   | 22 |
| Gambar 2. 2 Skala Fuzzifikasi .....   | 28 |
| Gambar 2. 3 <i>Pseudocode</i> .....   | 32 |
| Gambar 2. 4 <i>Pseudocode</i> .....   | 32 |
| Gambar 2. 5 <i>Pseudocode</i> .....   | 33 |
| Gambar 2. 6 <i>Pseudocode</i> .....   | 33 |
| Gambar 2. 7 <i>Pseudocode</i> .....   | 34 |
| Gambar 2. 8 <i>Pseudocode</i> .....   | 35 |
| Gambar 2. 9 <i>Pseudocode</i> .....   | 36 |
| Gambar 2. 10 <i>Pseudocode</i> .....  | 37 |
| Gambar 2. 11 <i>Pseudocode</i> .....  | 38 |
| Gambar 2. 12 <i>Pseudocode</i> .....  | 39 |
| Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....  | 42 |
| Gambar 3. 2 Alur Penelitian.....  | 43 |
| Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi.....   | 50 |
| Gambar 4. 2 Alur Proses Produksi.....   | 50 |
| Gambar 4. 3 Struktur Hirarki .....  | 54 |
| Gambar 4. 4 <i>Pseudocode</i> .....   | 58 |
| Gambar 4. 5 <i>Pseudocode</i> .....   | 59 |
| Gambar 4. 6 <i>Pseudocode</i> .....   | 59 |
| Gambar 4. 7 <i>Pseudocode</i> .....   | 60 |
| Gambar 4. 8 <i>Pseudocode</i> .....   | 61 |
| Gambar 4. 9 <i>Pseudocode</i> .....   | 62 |
| Gambar 4. 10 <i>Pseudocode</i> .....  | 62 |
| Gambar 4. 11 <i>Pseudocode</i> .....  | 63 |
| Gambar 4. 12 <i>Pseudocode</i> .....  | 64 |
| Gambar 4. 13 <i>Pseudocode</i> .....  | 65 |
| Gambar 5. 1 <i>Fiber Press Cake</i> .....                                       | 66 |
| Gambar 5. 2 <i>Fiber Empty Bunch Press</i> .....                                | 67 |
| Gambar 5. 3 <i>Shell</i> .....  | 68 |
| Gambar 5. 4 Perbandingan Jumlah <i>Steam</i> .....                              | 69 |
| Gambar 5. 5 Perbandingan Harga Jual Antar Jenis Bahan Bakar <i>Boiler</i> ..... | 70 |
| Gambar 5. 6 <i>Pseudocode</i> Hasil Akhir.....                                  | 70 |

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dengan besarnya produksi kelapa sawit di Indonesia, dibutuhkan energi listrik dan bahan bakar fosil yang besar pula. Minyak nabati dari kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) memiliki peran yang signifikan dalam ekonomi Indonesia sebagai salah satu hasil perkebunan yang vital. Penggunaan minyak kelapa sawit telah merambah ke berbagai sektor, termasuk industri makanan, industri, dan sebagai bahan bakar atau biodiesel. Menurut data dari Badan Pusat Statistik tahun 2018, Indonesia adalah produsen terbesar kelapa sawit di dunia. Mayoritas minyak kelapa sawit Indonesia diekspor ke luar negeri, sementara sebagian kecilnya tersedia di pasar domestik. (Nurkholis & Sitanggang, 2020).

Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang menduduki posisi penting dalam sektor pertanian dan sektor perkebunan di Indonesia yang tersebar di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua (Mulyani & Las, 2008). Kelapa sawit merupakan komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Lahan yang optimal untuk kelapa sawit harus mengacu pada tiga faktor yaitu lingkungan, sifat fisik lahan dan sifat kimia tanah atau kesuburan tanah (Haryanti et al., 2014). Tanaman kelapa sawit di perkebunan komersial dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 24-28°C. Untuk memperoleh hasil maksimal dalam budidaya kelapa sawit perlu memperhatikan sifat fisik dan kimia tanah di antaranya struktur tanah dan pembuangan massa air melalui tanah yang baik. Selain menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), dalam proses pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah yang sangat banyak.

Menurut Hudori (2018) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) adalah pabrik yang mengolah Tandan Buah Segar (TBS) dengan menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Kernel* (inti sawit). Dalam proses produksinya terdapat beberapa stasiun khusus diproduksi yaitu dari penerimaan, perebusan, perontokan, pelumatan (pelepasan biji sawit dari tandannya), dan pengepresan, hingga hasilnya berupa produk cair diolah pada stasiun klarifikasi dan yang padat diolah pada stasiun *nut and kernel*. Selain stasiun utama, di PKS juga terdapat stasiun pendukung yang perannya sangat penting di dalam pabrik yaitu stasiun *boiler*,

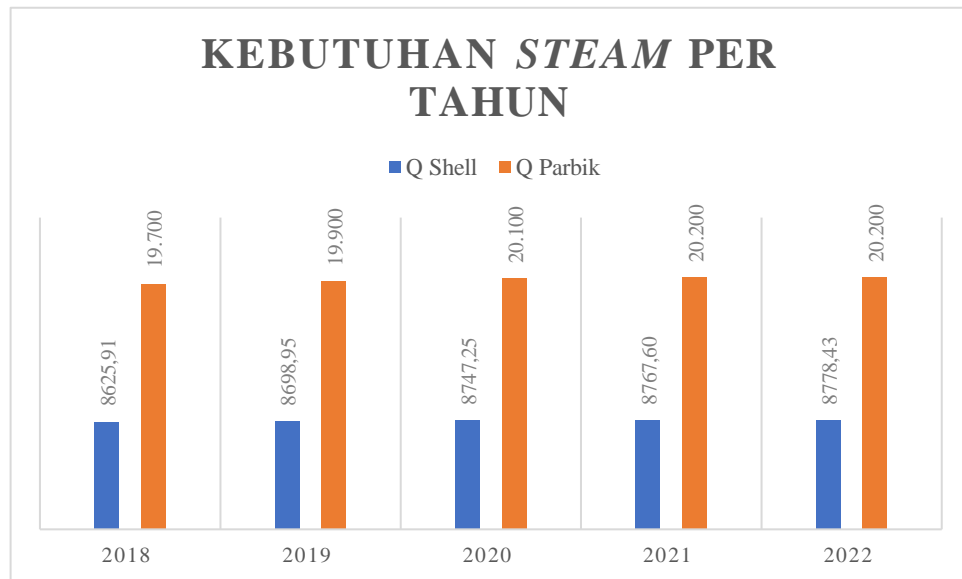
*power house, water treatment plant, workshop and maintenance, store*, dan stasiun pengolahan limbah. Dalam penelitian ini, peneliti berfokus pada stasiun *boiler*. *Boiler* merupakan salah satu unit yang terpenting di dalam pabrik kelapa sawit, jika unit ini tidak berjalan dengan baik maka stasiun proses di pabrik kelapa sawit juga terganggu, namun dengan demikian bukan berarti *boiler* tanpa unit yang lain juga bisa bekerja sendiri. Di dalam pabrik kelapa sawit semua stasiun sangat berkaitan untuk dapat bekerja dengan baik.

PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*) merupakan salah satu pabrik kelapa sawit (PKS) yang berlokasi di Jl Mt Haryono No 23 A Pontianak, Kubu Raya, Kalimantan Barat Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Pabrik kelapa sawit ini termasuk kedalam kategori perusahaan agribisnis atau perusahaan pertanian. Agribisnis adalah sektor ekonomi yang melibatkan produksi, pengolahan, dan distribusi produk pertanian, seperti tanaman, hewan ternak, dan hasil hutan. Pabrik kelapa sawit termasuk dalam lingkup agribisnis karena melibatkan produksi dan pengolahan tanaman kelapa sawit untuk menghasilkan minyak kelapa sawit.

Di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* semua stasiun sangat berkaitan untuk dapat bekerja dengan baik. Contoh yaitu untuk *boiler* dapat beroperasi perlu adanya pemasokan air bersih yang sesuai standar untuk konsumsi air *boiler* dari unit *stasiun water treatment plant*. Untuk memanaskan air hingga menjadi uap maka *boiler* memerlukan bahan bakar berupa *fiber* (serat kelapa sawit) atau cangkang kelapa sawit dari hasil pengolahan di stasiun *nut and kernel*. Sedangkan unit *water treatment plant* dan unit stasiun *nut and kernel* tidak akan dapat beroperasi sebagaimana mestinya apabila tidak ada pemasokan daya listrik dari stasiun pembangkit listrik *power house* untuk menggerakkan motor dan yang lainnya. Sedangkan turbin untuk bergerak menghasilkan daya listrik memerlukan *steam* dari unit *boiler*. Disisi lain stasiun proses membutuhkan sisa *steam* dari unit pembangkit listrik dan *make up steam* langsung dari *boiler* untuk dapat memproses *input* berupa Tandan Buah Segar (TBS) hingga menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan kernel (inti sawit). Di stasiun *nut and kernel* menghasilkan limbah berupa *fiber* dan cangkang kelapa sawit yang nantinya sebagai bahan bakar *boiler* dalam merebus air hingga menjadi *steam* yang akan digunakan di stasiun pembangkit listrik dan BPV. Jadi dengan demikian bahwa antara stasiun proses dan stasiun pendukung yang lainnya sangat bergantung. Dari unit *boiler* sangat diperhatikan dalam proses menghasilkan uap, karena unit *boiler* berperan dalam pensuplaian *steam* untuk penggerak turbin

membangkitkan daya listrik dan untuk (*Back Pressure Valve*) BPV dalam menyediakan *steam* untuk proses produksi. Apabila dalam proses menghasilkan uap pada *boiler* tidak optimal sehingga menyebabkan kekurangan *steam* untuk pemasokkan pada unit pembangkit listrik dan *Back Pressure Valve* (BPV), sedangkan untuk proses harus selalu tersedia *steam* untuk proses produksi, misalnya dalam perebusan dan unit-unit lain juga perlu daya listrik untuk menggerakkan motor listrik dan penerangan serta yang lainnya. Maka dari masalah di atas *manager* Pabrik Kelapa Sawit (PKS) memiliki kebijakan dalam mengatasi hal ini dengan cara unit *Back Pressure Valve* (BPV) harus tetap mendapat suplai *steam optimal* untuk proses produksi, sedangkan untuk keperluan daya listrik turbin dibantu dengan unit genset (*generator set*) yang digerakkan dengan bahan bakar minyak bumi solar, hal ini disebut dengan proses sinkronisasi. Akan tetapi kebijakan ini juga memiliki rugi-rugi dalam pemakaian bahan bakar minyak solar apabila sinkronisasi ini sangat sering dilakukan. Dari hal tersebut bisa dilihat bahwa *boiler* dalam pensuplaian uap tidak optimal sehingga rugi-rugi pemakaian solar pada sinkronisasi semakin tinggi.

Pada stasiun *boiler* membutuhkan bahan bakar untuk proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS). PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* menggunakan jenis bahan bakar *boiler shell/cangkang* kelapa sawit sebagai bahan bakar utama dan bahan bakar *boiler* berjenis *fiber/serat* kelapa sawit sebagai bahan bakar cadangan karena sebagai bentuk dari pemanfaatan limbah dari pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit, kedua bahan bakar *boiler* yang tersedia juga termasuk kedalam sumber energi terbarukan karena tidak bergantung pada bahan bakar fosil dan mampu untuk mengurangi dampak lingkungan negatif. Bahan bakar *boiler* yang digunakan juga tergolong kedalam bahan bakar yang hemat biaya karena cangkang maupun serat kelapa sawit adalah produk sampingan yang dihasilkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit. Adapun kekurangan dari bahan bakar ini yaitu kurang terpenuhinya kebutuhan *steam* pada pabrik yang mengakibatkan kurangnya daya yang mensuplai pabrik saat ingin melakukan pengolahan minyak kelapa sawit dan kekurangan lainnya dari jenis bahan bakar *shell/cangkang* kelapa sawit ini adalah endapan yang menempel pada dapur *boiler*. Berikut merupakan data grafik 5 tahun terakhir perbandingan antara rata-rata *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *boiler* yang digunakan dalam satu tahun dengan rata-rata kebutuhan *steam* pabrik dalam satu tahun:



Gambar 1. 1 Kebutuhan *Steam* Per Tahun

Pada Gambar 1.1 menunjukkan perbandingan antara data kebutuhan *steam* pabrik dan data *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *shell* pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Dapat dilihat bahwa Q *Shell* (*steam* yang dihasilkan oleh *shell*) pada tahun 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022 menunjukkan nilai yang masih jauh dari angka kebutuhan *steam* pabrik. Sehingga, di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM masih menggunakan bahan bakar *boiler* yang kurang efisien karena tidak terpenuhinya kebutuhan *steam* pabrik.

Penelitian ini dilakukan sebagai bentuk upaya mengatasi permasalahan yang dihadapi PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* yaitu penggunaan bahan bakar *boiler* yang kurang tepat/efisien yang mengakibatkan kebutuhan *steam* pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM tidak terpenuhi, penelitian ini menggunakan metode FAHP. AHP dapat digunakan karena dalam AHP masalah utama yang kompleks akan diuraikan hingga ke bentuk yang lebih terstruktur dengan cara suatu masalah disusun dari berbagai pilihan yang dapat berupa kriteria yang sebelumnya telah dibentuk kedalam struktur (hierarki) terlebih dahulu, sehingga dapat dinilai secara subjektif lalu membuat keputusan guna mengembangkan atau membuat kesimpulan. Pada penelitian ini AHP diterapkan untuk pemilihan bahan bakar *boiler* yang paling efisien dengan menggunakan beberapa faktor yang nantinya akan menjadi kriteria untuk penilaian dari setiap jenis bahan bakar. Akan tetapi metode AHP memiliki kekurangan yaitu ketidakpresisian dalam mengatasi *multi criteria decision making*, maka dari itu dibutuhkan pendekatan *fuzzy* guna menutupi

kekurangan pada metode AHP karena *fuzzy* menyediakan cara untuk menggambarkan kesimpulan pasti dari informasi yang samar-samar, ambigu dan tidak tepat. Peran *fuzzy* pada penelitian ini adalah mengfuzzifikasikan skala AHP menjadi skala *Fuzzy*.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Faktor-faktor apa saja yang dipertimbangkan oleh perusahaan dalam penilaian bahan bakar *boiler* untuk mengefisiensikan kebutuhan *steam* pada penentuan jenis bahan bakar *boiler* yang digunakan stasiun pengolahan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*?
2. Berapakah hasil penilaian dari setiap jenis bahan bakar *boiler* untuk mengefisiensikan kebutuhan *steam* pada penentuan jenis bahan bakar *boiler* yang digunakan stasiun pengolahan menggunakan metode *fuzzy analytical hierarchy process* (FAHP) di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*?
3. Bagaimana rekomendasi yang diperlukan PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* untuk mengefisiensi kebutuhan bahan bakar *boiler*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini, maka tujuan penelitian yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui Faktor-faktor apa saja yang dipertimbangkan oleh perusahaan dalam penilaian bahan bakar *boiler* untuk mengefisiensikan kebutuhan *steam* pada penentuan jenis bahan bakar *boiler* yang digunakan stasiun pengolahan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*.
2. Untuk mengetahui hasil penilaian dari setiap jenis bahan bakar *boiler* untuk mengefisiensikan kebutuhan *steam* pada penentuan jenis bahan bakar *boiler* yang digunakan stasiun pengolahan menggunakan metode *fuzzy analytical hierarchy process* (FAHP) di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*.
3. Memberikan rekomendasi yang diberikan kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* untuk mengefisiensi kebutuhan bahan bakar *boiler*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Berikut merupakan manfaat yang diperoleh dari penelitian di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*.

1. Diharapkan menjadi masukan dan bahan pertimbangan bagi PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*palm oil mill*) terkait dengan pemilihan bahan bakar *boiler* yang lebih efisien.
2. Diharapkan bisa memberikan rekomendasi yang berguna dan alternatif yang termasuk kedalam kategori terbaik bagi PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*palm oil mill*).
3. Meningkatkan efisiensi dalam penggunaan bahan bakar *boiler* agar kebutuhan *steam* oleh pabrik terpenuhi.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah diperoleh, peneliti membatasi masalah agar lebih fokus terhadap objek yang akan diteliti. Berikut merupakan batasan masalah.

1. Penelitian dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*.
2. Periode pelaksanaan penelitian di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill* dari 25 September–25 Oktober 2023.
3. Objek pada penelitian ini adalah kebutuhan *steam* pabrik dengan penentuan bahan bakar *boiler*.
4. Kriteria yang digunakan pada penelitian ini adalah faktor-faktor yang menjadi dasar penilaian terhadap setiap jenis bahan bakar *boiler*.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Agar lebih terstruktur, maka penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang penelitian, permasalahan yang dihadapi, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan uraian mengenai sistematika penulisan.

#### **BAB II KAJIAN LITERATUR**

Pada bab ini berisi penjelasan kajian induktif dan deduktif yang berhubungan dengan permasalahan dalam penelitian ini sehingga dapat digunakan sebagai landasan untuk memecahkan masalah yang ada dalam penelitian.

**BAB III      METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi penjelasan mengenai kerangka penelitian yang mencakup subjek dan objek penelitian, metode pengumpulan data, alat pengumpulan data, dan diagram alir penelitian yang menjelaskan alur pelaksanaan penelitian.

**BAB IV      PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini menguraikan langkah-langkah pengumpulan dan pengolahan data dengan menerapkan metode yang telah dijelaskan di bab sebelumnya. Hasil yang diperoleh dalam bab ini akan menjadi dasar untuk menjelaskan secara lebih mendalam dalam bab berikutnya terkait pembahasan dan analisis.

**BAB V      PEMBAHASAN**

Pada bab ini memaparkan analisis dan pembahasan secara terperinci mengenai hasil yang terdapat pada bab 4 sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

**BAB VI      PENUTUP**

Pada bab ini memaparkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan menjelaskan saran untuk penelitian selanjutnya.

**DAFTAR**      Berisi seluruh sumber data yang digunakan dalam penelitian

**PUSTAKA**

**LAMPIRAN** Berisi dokumen tambahan hasil dari suatu penelitian makalah, proposal, skripsi, atau karya tulis lain berupa gambar, foto, teks, dan lainnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Literatur

Penelitian ini telah menggunakan penelitian terdahulu sebagai referensi, salah satunya adalah yang diteliti oleh (Qamaruddin & Sikki, 2016) yang berjudul Analisis Pengaruh Tekanan Uap terhadap Kebutuhan Bahan Bakar dalam Industri Makanan menyoroti praktik umum dalam industri, di mana alat penukar kalor digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Dalam konteks ini, pemasangan alat penukar kalor jenis shell and tube pada ekonomiser dengan penggunaan bahan bakar solar (HSD) sebesar 50% hingga 100% menjadi langkah yang lazim. Penggunaan gas buang untuk memanaskan boiler tidak hanya meningkatkan efisiensi boiler tetapi juga menghemat bahan bakar. Sementara itu, uap panas yang terbuang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air pada alat penukar kalor dengan suhu mencapai 103°C, sedangkan suhu uap panas di boiler mencapai 249°C. Dengan variasi tekanan uap dari 5,7 hingga 6,4 bar yang diatur pada boiler, dapat diprediksi kebutuhan bahan bakar yang diperlukan oleh burner. Dengan demikian, pengaturan tekanan uap menjadi kunci dalam mengoptimalkan konsumsi bahan bakar dalam proses produksi.

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh (Saidah et al., 2022) yang berjudul Analisis Potensi Penghematan Energi pada Boiler dengan Kapasitas 40 ton/jam di PKS Aek Loba PT. Socfin Indonesia menggambarkan upaya untuk mengurangi biaya produksi uap melalui audit energi pada sistem pembangkit uap. Boiler, sebagai bagian dari pembangkit uap, mengubah air menjadi uap dengan bantuan panas dari pembakaran bahan bakar. Audit energi dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan energi dan mengidentifikasi peluang konservasi energi. Audit pada boiler bertujuan untuk mengenali peluang penghematan energi dengan menilai efisiensi boiler, baik dengan metode langsung maupun tak langsung. Contoh boiler yang diaudit adalah water tube boiler dengan kapasitas 40 ton/jam di PKS Aek Loba, PT Socfin Indonesia. Efisiensi boiler sebesar 75% dihitung dengan metode langsung, dan terdapat potensi penghematan hingga 5% dengan mengontrol rasio udara agar kadar oksigen pada gas buang berkurang. Untuk menjaga stabilitas kinerja boiler, penting untuk memperhatikan

manajemen kualitas air umpan dan manajemen pembakaran.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh (Dwi et al., 2019) yang berjudul Analisis Efisiensi Boiler dengan Kapasitas 55 Ton/Jam di PT PT.PJB (Pembangkit Jawa Bali) PLTU Ketapang 2X10 MW mengulas evaluasi nilai efisiensi boiler dalam unit pembangkit listrik. PLTU Ketapang berperan penting dalam menyuplai energi listrik ke PLN di Kabupaten Ketapang, dengan boiler sebagai komponen utama yang mengubah air menjadi uap dengan kapasitas produksi 55 ton/jam. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi boiler menggunakan metode langsung (Direct Method) dan tidak langsung (Indirect Method), serta membandingkan hasil perhitungan keduanya. Penyebab penurunan dan peningkatan efisiensi juga dianalisis. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi sebesar 75% dengan metode langsung dan 78% dengan metode tidak langsung. Namun, efisiensi tersebut tidak memenuhi standar desain 80% karena beberapa faktor, termasuk kebocoran steam akibat rusaknya valve, kebocoran udara di water heater, dan penggunaan batubara yang basah.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Parinduri1 et al., 2019) yang berjudul Analisis Persediaan Limbah Kering dari Pabrik Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar untuk Pembangkit Listrik di PTPN IV Kebun Adolina. Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Kebun Adolina adalah perusahaan yang bergerak dalam pengolahan kelapa sawit, dengan perhatian khusus pada faktor-faktor produksi dalam aktivitasnya. Boiler adalah fasilitas pendukung yang sangat penting dan memiliki dampak besar terhadap proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi ketersediaan cangkang dan serabut kelapa sawit dalam operasi boiler, untuk mengetahui apakah persediaan tandan buah segar (TBS) sudah mencukupi kebutuhan bahan bakar boiler selama proses pengolahan berlangsung, dan untuk menganalisis kebutuhan rata-rata bahan bakar cangkang dan serabut setiap tahunnya. Berdasarkan kapasitas olah TBS sebesar 30.000 kg/jam dari Maret 2018 hingga Februari 2019, rata-rata menghasilkan 814.495 kg cangkang dan 1.553.473 kg serabut. Jumlah cangkang yang digunakan sebanyak 730.375 kg dan serabut 1.462.336 kg. Dari analisis data, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar cangkang dan serabut yang dihasilkan dari sisa produksi pabrik dapat memenuhi kebutuhan bahan bakar *boiler*.

Adapun penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Dewi et al., 2022) yang berjudul Analisa Sistem Manajemen Pengoperasian Bahan Bakar *Boiler*. Manajemen operasional bahan bakar boiler bertujuan untuk efisien mengelola dan mengatur penggunaan bahan bakar, serta mengoptimalkan biaya dan proses produksi. Di PT. Bakrie Pasaman Plantations, manajemen ini didasarkan pada data operasional dan produksi bahan bakar di area boiler. Prosesnya dimulai dengan menentukan penggunaan bahan bakar

tandan buah segar (TBS) per hari, total waktu operasi boiler, dan daya yang digunakan per bulan. Dari analisis ekonomis, cangkang sawit lebih murah daripada serabut sawit, meskipun pasokan serabut lebih banyak (70% dibanding 30% cangkang). Namun, dari segi efisiensi, serabut sawit lebih unggul dengan tingkat efisiensi bahan bakar sekitar 36%-50%, sedangkan cangkang hanya sekitar 25%-34%. Dalam menghasilkan 1 kilowatt energi listrik, cangkang sawit membutuhkan 0,34 kg, sementara serabut sawit memerlukan 0,5 kg, menunjukkan bahwa serabut sawit lebih efisien dibandingkan cangkang sawit.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad Roni et al., 2021) yang berjudul Analisis Pengaruh Rasio Serabut Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan

Bakar Pada *Boiler*. Serabut dan cangkang kelapa sawit merupakan limbah biomassa yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam boiler. Serabut kelapa sawit merupakan lapisan luar biji sawit yang berbentuk serat, sementara cangkangnya terletak di lapisan luar ketiga dengan tekstur keras yang melapisi kernel kelapa sawit. Biasanya, cangkang kelapa sawit digunakan langsung sebagai bahan bakar padat atau sebagai bahan baku untuk pembuatan briket. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi emisi gas buang dan efisiensi boiler yang dihasilkan oleh bahan bakar serabut dan cangkang kelapa sawit. Metode penelitian meliputi survei literatur, survei lapangan, uji laboratorium, dan analisis efisiensi boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LHV (Low Heating Value) tertinggi adalah 43.805,04 Kcal/Kg dan terendah adalah 29.862,99 Kcal/Kg, dengan kombinasi 70% serabut kelapa sawit dan 30% cangkang kelapa sawit menghasilkan nilai 36.072,47 Kcal/Kg. Efisiensi boiler yang diukur adalah 80,11%.

Dari beberapa penelitian terdahulu di atas yang dijadikan sebagai referensi pada penelitian ini dapat diketahui bahwa untuk penyelesaian pada masalah bahan bakar *boiler*, penelitian ini mengutip dari penelitian (Qamaruddin & Sikki, 2016), (Saidah et al., 2022), (Dwi et al., 2019), (Parinduri1 et al., 2019), (Dewi et al., 2022), (Ahmad Roni et al., 2021). Akan tetapi terdapat perbedaan setiap prosesnya pada penelitian ini.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Septiani, 2015) yang berjudul *Design Of Steam Temperature Controller System On Superheater Using Fuzzy Sliding Mode Control Method*. Dalam suatu sistem PLTU, boiler memiliki peran penting, dimana superheater adalah komponen yang berperan dalam mengubah uap jenuh menjadi uap panas lanjut. Pada superheater, variabel yang diukur adalah temperatur uap, dimana set point yang diinginkan adalah 814 K. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah sistem pengendali FSMC (Fuzzy Sliding Mode Control) untuk mengontrol temperatur uap superheater, serta dilakukan analisis terhadap performansi sistemnya dengan membandingkan metode FSMC dengan SMC (Sliding Mode Control). Ditemukan bahwa pengendali FSMC dapat menjaga temperatur uap stabil sekitar 813,9 K tanpa gangguan maupun dengan gangguan eksternal dan internal, sedangkan dengan pengendali SMC, temperatur uap stabil di sekitar 813,5 K. Dari hasil ini, disimpulkan bahwa pengendali FSMC mampu menghasilkan temperatur uap yang lebih akurat (dengan error yang lebih kecil) dibandingkan SMC, namun membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai stabilitas dibandingkan pengendali SMC.

Selanjutnya ada penelitian yang dilakukan oleh (Ginanjari et al., 2019) yang berjudul *Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler dengan Melakukan Uji Kalori Pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Sentosa Prima Agro*. Ada beberapa faktor yang memengaruhi

kebutuhan bahan bakar pada boiler, salah satunya adalah nilai kalori bahan bakar, dimana semakin tinggi nilai kalorinya, semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan. Penentuan nilai kebutuhan bahan bakar pada boiler menjadi penting sebagai acuan dalam meningkatkan efisiensi proses pengolahan suatu perusahaan. Untuk mengetahui nilai kebutuhan bahan bakar pada boiler, perlu diketahui terlebih dahulu nilai kalori bahan bakarnya. Di PT. Sentosa Prima Agro, dilakukan uji kalori pada bahan bakar boiler berupa cangkang dan serat kelapa sawit. Data boiler seperti temperatur air umpan dan uap keluar, tekanan, dan laju aliran massa uap diambil, lalu dari data tersebut dicari nilai entalpi menggunakan software properti air dan uap, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan bakar boiler. Hasil uji menunjukkan nilai kalori cangkang sebesar 5.190,43 kcal/kg, serat 4.868,91 kcal/kg, dan campuran 30% cangkang dan 70% serat 4.851,61 kcal/kg. Selanjutnya, kebutuhan bahan bakar boiler untuk cangkang adalah 801,26 kg/jam, serat 864,17 kg/jam, dan campuran 30% cangkang dan 70% serat 867,84 kg/jam. Konsumsi spesifik bahan bakar berdasarkan daya listrik yang dihasilkan adalah untuk cangkang 1,074 kg/KWH, serat 1,158 kg/KWH, dan campuran 30% cangkang dan 70% serat 1,163 kg/KWH.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Irawan et al., 2019) yang berjudul *Simulasi Ph Air Untuk Air Boiler Dan Air Chiller Pada Mesin Produksi Refrigerator Dengan Menggunakan Logika Fuzzy*. Ketersediaan air yang sangat penting dalam proses produksi mesin menuntut perhatian terhadap kualitasnya, termasuk nilai pH agar air tersebut layak digunakan dalam boiler atau chiller. Untuk mengatasi kebutuhan ini, dibuat simulasi menggunakan MATLAB R2017a dengan menggunakan toolbox fuzzy yang mengimplementasikan metode fuzzy Mamdani. Simulasi logika fuzzy ini dirancang untuk menentukan kualitas air dengan mempertimbangkan standar pH untuk air boiler (10,5-11,5) dan air chiller (6-8) dalam proses produksi. Metode fuzzy Mamdani digunakan dengan centroid sebagai metode defuzzifikasi, dengan bantuan simulasi MATLAB R2017a. Sistem inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani. Penelitian ini menciptakan simulasi metode Mamdani yang dapat menilai kualitas pH air menggunakan logika fuzzy. Untuk air chiller, nilai ion besi (0-2 ppm), ion silika (50-150 ppm), Total Dissolved Solid (TDS) (500-1000 ppm), total Hardness (100-200 ppm), dan Alkalinity (500-750 ppm) harus memenuhi standar, sehingga pH air mencapai 6-8. Sedangkan untuk air boiler, nilai ion besi (0-2 ppm), ion silika (100-150 ppm), Total Dissolved Solid (TDS) (2000-3500 ppm), total Hardness (0-3 ppm), dan Alkalinity (700-800 ppm) harus memenuhi standar, sehingga pH air mencapai 10,5-11,5.

Dari beberapa penelitian terdahulu yang sudah dijabarkan di atas dan dijadikan sebagai referensi pada penelitian ini dapat diketahui bahwa untuk penyelesaian pada

masalah *fuzzy*, penelitian ini mengutip dari penelitian (Septiani, 2015), (Ginanjar et al., 2019), (Irawan et al., 2019). Akan tetapi terdapat perbedaan setiap prosesnya pada penelitian ini.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh (radia et al., 2018) yang berjudul Penerapan Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) Untuk Menentukan Besar Pinjaman Pada Koperasi. Salah satu layanan yang diberikan oleh koperasi adalah pemberian pinjaman, namun ini membawa risiko karena potensi terjadinya kredit macet yang dapat merugikan koperasi. Masalah serupa dialami oleh KUD Tuwuh Sari, dimana salah satu penyebabnya adalah kurangnya analisis yang tepat dalam menentukan besarnya pinjaman yang diberikan. Penelitian ini mencoba memberikan solusi dengan membangun sistem yang dapat membantu KUD Tuwuh Sari dalam menganalisis dan menentukan jumlah pinjaman yang tepat. Sistem ini dikembangkan dengan menerapkan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP), yang terbukti efektif untuk menangani keputusan multi-kriteria yang memiliki banyak aspek subjektif. Proses perhitungan F-AHP memerlukan konsistensi matriks perbandingan pasangan kriteria dengan nilai  $CR < 0,1$ . Sistem diuji dengan membandingkan keputusan yang dihasilkan dengan keputusan yang diambil oleh koperasi, menggunakan metode pengujian *k-fold cross validation*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata tingkat kesesuaian keputusan sistem dengan keputusan koperasi adalah 86%.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Fajri et al., 2018) yang berjudul Implementasi Metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (F-AHP) Dalam Penentuan Peminatan di MAN 2 Kota Serang. Program peminatan diperkenalkan untuk mengarahkan siswa berdasarkan bakat, minat, dan kemampuan akademik mereka. Di Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Serang, ada empat kelompok peminatan: IPA, IPS, Bahasa, dan Agama. Peminatan IPA ditujukan untuk siswa dengan kecenderungan ilmu pasti, IPS untuk siswa dengan kecenderungan ilmu sosial, Bahasa untuk siswa yang suka berbahasa, dan Agama untuk siswa yang tertarik pada ilmu agama. Dalam menentukan peminatan siswa, MAN 2 Kota Serang menggunakan lima aspek: nilai PPDB, nilai ujian nasional, nilai rapor, tes psikologi, dan keinginan siswa. Namun, belum ada standar pembobotan dalam setiap aspek, sehingga hasilnya belum optimal. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) dapat mengatasi kekurangan tersebut dengan menghadapi aspek-aspek subjektif dalam metode AHP. Logika Fuzzy memiliki nilai kesamaran antara dua nilai. Dalam penelitian ini, akurasi yang dicapai adalah 76,67% dengan menggunakan 30 data uji untuk menentukan peminatan di MAN 2 Kota Serang.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh (fa et al., 2013) yang berjudul Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur pada *Boiler* Menggunakan PID dan *Fuzzy Logic Controller*. Kendali PID konvensional sering diterapkan dalam berbagai industri karena sifatnya yang sederhana dan handal. Di beberapa industri, parameter proses bisa berubah-ubah karena perubahan lingkungan sekitar. Parameter ini mencakup aliran steam, tekanan, dan suhu dari peralatan industri yang digunakan. Berbagai teknik kendali sedang dikembangkan untuk mengatasi perubahan parameter ini. Dalam penelitian ini, aliran steam pada boiler dikendalikan menggunakan PID, Fuzzy Logic Controller (FLC), dan kemudian dioptimalkan menggunakan Fuzzy-PID. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa penggunaan PID menghasilkan overshoot sebesar 52,28%, FLC sebesar 1,74%, dan Fuzzy-PID sebesar 9,93%. Setting time untuk PID adalah 31 detik, FLC adalah 67 detik, dan Fuzzy-PID adalah 49 detik. Penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dengan Fuzzy-PID memberikan respons pengendalian yang lebih baik daripada PID atau FLC.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh (saputyah et al., 2018) yang berjudul Analisis Akurasi Pengambilan Keputusan Menggunakan *Fuzzy AHP* Dalam Penentuan *Rangking* Karyawan Terbaik. Proses pengambilan keputusan melibatkan penilaian pilihan-pilihan yang ada dan mengambil keputusan yang tepat berdasarkan alternatif-alternatif yang dipertimbangkan. Dalam konteks menilai karyawan terbaik, penting untuk mengukur aspek-aspek seperti loyalitas dan kinerja. Namun, pimpinan seringkali

mengalami kesulitan dalam menilai karyawan secara objektif, yang mengakibatkan ketidakakuratan dalam penilaian. Penelitian ini menggunakan metode AHP untuk menentukan bobot nilai yang berkaitan dengan kriteria dan subkriteria penilaian, termasuk Tanggung Jawab, Kedisiplinan, Ketelitian, Keahlian, Kepemimpinan, Absensi, Kepribadian, dan Komunikasi. Sementara itu, alternatif penilaian adalah seluruh karyawan yang berjumlah 100 orang, dengan asumsi penilaian dilakukan terhadap karyawan yang telah bekerja lebih dari dua belas bulan. Data yang digunakan berasal dari kuesioner bulanan pemilihan karyawan terbaik dari Januari hingga Desember tahun 2016. Untuk mengevaluasi akurasi, perbandingan dilakukan menggunakan metode Fuzzy AHP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari lima puluh karyawan yang diuji, metode AHP menghasilkan bobot nilai sebesar 28%, dengan nilai tertinggi 0,0493 untuk karyawan terbaik. Namun, dengan menggunakan metode Fuzzy AHP, terjadi peningkatan akurasi sebesar 42%, dengan nilai tertinggi mencapai 0,5949. Oleh karena itu, metode Fuzzy AHP dianggap lebih baik daripada metode AHP, karena dapat memberikan nilai akurasi yang lebih optimal.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Suciadi, 2013) yang berjudul *Pemilihan dan Evaluasi Pemasok Pada P.T. New Hope Jawa Timur dengan Menggunakan Metode Fuzzy Analytichierarchy Process*. Dalam menghadapi persaingan yang semakin ketat, perolehan bahan baku yang lebih selektif, serta kompleksitas dan dinamika dalam rantai pasokan, menjadi penting untuk memastikan bahwa segala aktivitas dan fungsinya berjalan dengan efektif dan efisien, termasuk dalam pemilihan pemasok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merangking beberapa alternatif pemasok berdasarkan kriteria-kriteria pemilihan yang telah ditetapkan sebelumnya, yang merupakan bagian dari pengambilan keputusan yang kompleks dan mencerminkan situasi nyata dengan lebih akurat. Penelitian ini dilakukan pada P.T. New Hope Jawa Timur, sebuah perusahaan yang bergerak dalam industri pakan ternak yang berlokasi di Sidoarjo. Masalah yang sering terjadi di perusahaan ini terkait dengan pemasok, terutama terkait dengan ketidaksesuaian kapasitas material dengan pesanan yang ada. Salah satu solusi untuk masalah ini adalah dengan meningkatkan cara pemilihan pemasok menggunakan metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasok B dianggap sebagai pemasok terbaik.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| No | Author, year             | Topik penelitian   | Metode |     |       |
|----|--------------------------|--|--------|-----|-------|
|    |                          |  | Fuzzy  | Ahp | F-ahp |
| 1  | (Hanifah, 2021)          | Mencari solusi teknologi yang bersahabat dengan lingkungan dalam semua proses produksi, termasuk pengelolaan limbah seperti mengurangi pembakaran dan pemanfaatan lahan, adalah tujuan utama. Dengan menggunakan pendekatan peringkat daerah-daerah yang potensial untuk pengolahan limbah kelapa sawit melalui platform web dengan metode AHP-TOPSIS, perusahaan akan lebih mudah dalam mengambil keputusan terkait pengembangan energi terbarukan. |        | ✓   |       |
| 2  | (Yudianto & Kamil, 2019) | Prototipe Pemodelan Monitoring Pengisian Dan Pencegahan Kebakaran Batubara Pada Silo Berbasiskan <i>Plc-Scada</i> Menggunakan <i>Fuzzy</i>   | ✓      |     |       |
| 3  | (Sinuhaji et al., 2022)  | Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Kualitas Crude Palm Oil Sebagai Bahan Baku   | ✓      |     |       |

|    |                                | Minyak Goreng Menggunakan Matlab Dengan Metode Fuzzy Logic Tsukamoto   |   |   |   |
|----|--------------------------------|--|---|---|---|
| 4  | (Ginancar et al., 2019)        | Menganalisis Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i> Dengan Melakukan Uji Kalori Pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Santosa Prima Agro   | ✓ |   |   |
| 5  | (Sa'id et al., 2023)           | Tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan peran mandor dalam proses rekrutmen tenaga kerja kontrak di perkebunan kelapa sawit PT. Bumi Pratama Khatulistiwa (BPK) |   | ✓ |   |
| 6  | (Irawan et al., 2019)          | Menyusun simulasi metode Mamdani yang mampu menilai kualitas pH air yang dihasilkan melalui penggunaan logika fuzzy  | ✓ |   |   |
| 7  | (Dewi et al., 2022)            | Analisa Sistem Manajemen Pengoperasian Bahan Bakar <i>Boiler</i> Menggunakan Metode FAHP   |   |   | ✓ |
| 8  | (Nurkholis & Sitanggang, 2020) | Mengevaluasi Kesesuaian Lahan Kelapa Sawit Menggunakan Metode <i>Fuzzy</i>   | ✓ |   |   |
| 9  | (Ahmad Roni et al., 2021)      | Analisis Pengaruh Rasio Serabut Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pada <i>Boiler</i> Menggunakan Metode <i>Logic Fuzzy</i>                                 | ✓ |   |   |
| 10 | Penelitian ini                 | Menganalisa Efisiensi Kebutuhan <i>Steam</i> Pada Penentuan Jenis Bahan  | ✓ | ✓ | ✓ |

Bakar Boiler Menggunakan  
Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy*  
*Process*

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guinensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran krusial dalam perekonomian Indonesia karena menjadi sumber minyak nabati yang sangat dibutuhkan oleh industri. Minyak kelapa sawit digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk minyak masak, minyak industri, dan bahan bakar/biodiesel, karena memiliki sifat tahan oksidasi di bawah tekanan tinggi, kemampuan melarutkan zat kimia yang tidak larut oleh pelarut lain, dan kemampuan melapis yang tinggi. Menurut data Badan Pusat Statistik tahun 2018 yang dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh (afriilianolis & Sitanggang, 2020), Indonesia adalah produsen produk kelapa sawit terbesar di dunia. Mayoritas minyak kelapa sawit Indonesia diekspor ke luar negeri, sementara sisanya diperjualbelikan di pasar domestik.

### 2.2.2 Pengertian Boiler

Boiler merupakan komponen dalam sistem pembangkit uap yang berbentuk bejana tertutup, berfungsi mengkonversi air menjadi uap dengan menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar (Saidah et al., 2022). Bagian inti dari boiler umumnya terdiri dari pipa evaporator/boiling, mekanisme pembakaran, pompa, blower, air masuk, serta drum untuk air dan uap (Saidah et al., 2022). Secara umum, boiler melibatkan dua proses utama, yakni pembakaran bahan bakar dan pelepasan panas, serta proses perpindahan panas dan pembentukan uap dari air masukan. Sementara itu, berbagai jenis bahan bakar dapat digunakan untuk boiler, termasuk batu bara, minyak, gas, biomassa, dan limbah panas (Saidah et al., 2022).

Sistem boiler terdiri dari beberapa bagian, termasuk sistem pengumpan air, sistem uap air, dan sistem bahan bakar. Sistem pengumpan air bertugas menyediakan dan mengatur air untuk memenuhi kebutuhan uap air boiler secara otomatis. Sementara itu, sistem uap air bertanggung jawab mengontrol produksi uap air di dalam boiler. Di seluruh sistem tersebut, tekanan uap air diatur menggunakan katup dan diukur dengan alat pengukur tekanan uap air. Bagian sistem bahan bakar mencakup semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan panas, dan jenis peralatan ini tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Parinduri1 et al., 2019), *steam* yang dihasilkan

pada tekanan dan suhu tertentu memiliki energi yang bernilai, yang kemudian digunakan untuk mentransfer panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Saat air dipanaskan hingga menjadi steam, volumenya meningkat sekitar 1600 kali, menciptakan tenaga yang sangat kuat yang dapat menyerupai bubuk mesiu yang sangat mudah meledak. Oleh karena itu, sistem boiler harus dikelola dan dijaga dengan cermat. Boiler sering disebut juga sebagai ketel uap. Di dalam pabrik kelapa sawit, boiler memiliki peran utama sebagai sumber energi. Uap yang dihasilkan oleh *boiler* digunakan untuk:

- a. Penggerak pesawat uap (*system engine*) yang disebut turbin.
- b. Pemanasan.
- c. Rebusan (*Strerilizer*).
- d. Pengadukan (*Digester*).
- e. Tangki – tangki minyak yang ada di pabrik.
- f. Kernel (inti sawit) *Storage*.
- g. Tenaga listrik dalam pabrik.

### **2.2.3 Manajemen Pengoperasian Bahan Bakar**

Manajemen pengoperasian bahan bakar merujuk pada pengambilan keputusan dalam fungsi operasional yang terkait dengan pemakaian dan pengaturan bahan bakar di boiler. Ini melibatkan pengelolaan konsumsi bahan bakar dengan menyesuaikan penggunaan bahan bakar sesuai kebijakan yang ditetapkan, dengan tujuan memaksimalkan hasil sesuai kebutuhan yang diperlukan (Dewi et al., 2022). Adapun tujuan manajemen operasional yang dipaparkan dalam penelitian yang dilakukan oleh (Dewi et al., 2022) adalah:

#### **1. Efisiensi**

Salah satu objektif dalam manajemen adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam pengoperasian barang-barang yang diproduksi di perusahaan. Efisiensi produksi memiliki dampak yang signifikan dalam manajemen pengoperasian karena dapat menjadi indikator kualitas yang baik bagi perusahaan tersebut. Menurut (Stephanie et al., 2018), efisiensi terdiri atas efisiensi teknis dan alokatif. Efisiensi teknis adalah kemampuan mendapatkan *output*

maksimum dari *input* yang digunakan. Efisiensi alokatif adalah kemampuan menggunakan proporsi *input* yang optimal dengan harga dan teknologi yang dimiliki. Kombinasi keduanya disebut efisiensi ekonomi. Efisiensi penting dalam produksi karena merepresentasikan kemampuan teknis dan manajerial perusahaan dalam menghasilkan barang atau jasa.

## 2. Produktivitas

Di perusahaan, produktivitas juga menjadi faktor penentu nilai perusahaan karena produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh permintaan dari konsumen. Oleh karena itu, baik perusahaan besar maupun kecil sebaiknya memperhatikan kebutuhan konsumen saat menghasilkan barang atau jasa yang berkualitas. Produktivitas TBS yang dilansir pada penelitian (Pasha & Suryani, 2017) merupakan variabel penting yang mempengaruhi terhadap hasil produksi TBS. Produktivitas TBS dipengaruhi oleh variabel produktivitas bibit berdasarkan jenis bibit yang dipakai, variabel pengaruh umur tanaman berdasarkan umur tanaman, dan variabel pengaruh curah hujan berdasarkan curah hujan.

## 3. Ekonomi

Ekonomi merupakan salah satu target dalam manajemen operasi dan produksi perusahaan karena manajemen ekonomi yang efisien dan tepat dalam proses produksi sangat membantu mengurangi biaya produksi perusahaan.

## 4. Kualitas

Kualitas juga merupakan elemen penting dalam manajemen operasional perusahaan. Kualitas yang tinggi dan sesuai dapat meningkatkan pendapatan dan kepercayaan konsumen terhadap perusahaan. Dari kutipan yang dilansir dari penelitian (Alfikri & Hariastuti, 2019) konsumen menggunakan spesifikasi, standar dan ukuran lainnya sebagai definisi kualitas. Ini membuat titik bahwa kualitas dapat ditentukan dan diukur meskipun beberapa konsumen dapat mendefinisikan kualitas jika diminta, semua tahu ketika melihatnya. Dengan pendekatan kualitas, konsumen akhirnya menentukan kualitas. Kualitas dapat dan sering berubah seiring berjalannya waktu dan keadaan. Elemen produk, layanan, orang, proses, dan lingkungan sangat penting yang membuat titik bahwa kualitas tidak hanya berlaku untuk produk dan layanan yang diberikan.

## 5. Mengurangi Waktu Pemrosesan

Terakhir, mengurangi waktu pemrosesan juga menjadi salah satu fokus utama dalam manajemen operasional perusahaan. Hal ini menjadi tujuan utama dalam bisnis atau produksi karena dapat menghemat waktu yang digunakan untuk menghasilkan barang atau produk.

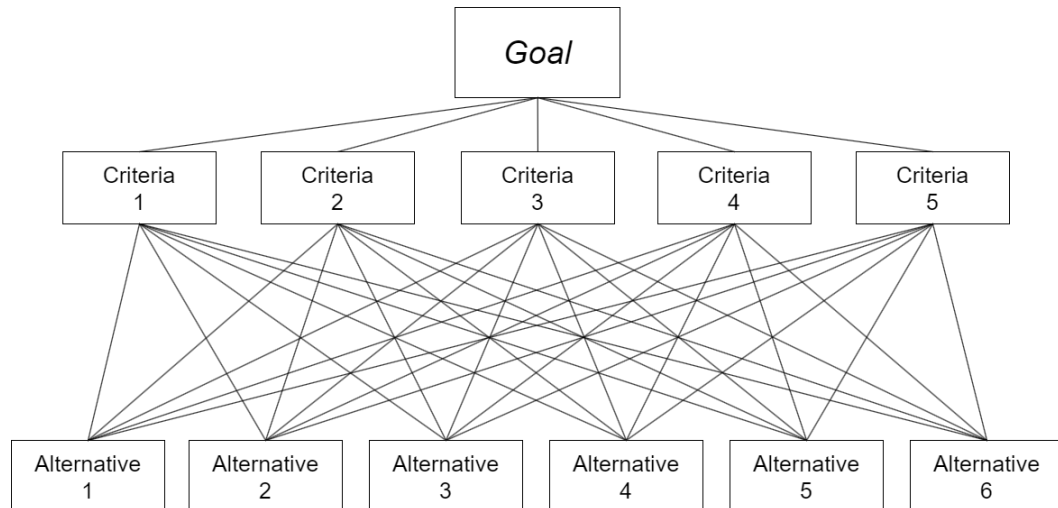
#### **2.2.4 AHP (Analytic Hierarchy Process)**

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Hanifah, 2021) *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan suatu metode pendekatan yang sesuai untuk menangani sistem yang kompleks yang berhubungan dengan penentuan keputusan dari beberapa alternatif dan memberikan pilihan yang dapat dipertimbangkan. Ketika menggunakan metode AHP untuk menyelesaikan masalah, terdapat beberapa prinsip yang perlu dipahami, yang antara lain sebagai berikut:

##### **1. Dekomposisi (*Decomposition*)**

Dekomposisi adalah proses pembagian atau pemecahan suatu masalah utuh menjadi bagian-bagiannya dalam bentuk hierarki proses pengambilan keputusan, di mana setiap bagian saling terkait. Proses ini dilakukan hingga tidak mungkin untuk memecah lebih lanjut, sehingga terbentuk beberapa tingkat dari masalah yang ingin diselesaikan. Struktur hierarki keputusan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu lengkap (*complete*) dan tidak lengkap (*incomplete*). Suatu hierarki keputusan disebut lengkap jika setiap elemen pada suatu tingkat memiliki hubungan dengan semua elemen pada tingkat berikutnya, sedangkan hierarki keputusan tidak lengkap berarti sebaliknya. Adapun bentuk dari struktur dekomposisi adalah sebagai berikut:

- a) Tingkat pertama: Tujuan keputusan (*Goal*)
- b) Tingkat kedua: Kriteria – kriteria
- c) Tingkat ketiga: Alternatif – alternatif.



Gambar 2. 1 Strukur Hirarki

Hierarki masalah dibentuk untuk memfasilitasi proses pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan semua elemen keputusan yang terlibat dalam sistem. Banyak masalah sulit diselesaikan karena mereka tidak dipahami sebagai bagian dari suatu sistem dengan struktur yang jelas.

## 2. *Comparative Judgement*

*Comparative judgement* dilakukan dengan menilai relatif kepentingan dua elemen pada tingkat tertentu terhadap tingkat di atasnya. Ini merupakan aspek kunci dari AHP karena akan memengaruhi prioritas elemen-elemen tersebut. Hasil dari penilaian ini biasanya direpresentasikan dalam matriks perbandingan berpasangan, yang memuat preferensi tingkat beberapa alternatif untuk setiap kriteria. Skala preferensi yang digunakan berkisar dari 1, menunjukkan tingkat kepentingan yang paling rendah (*equal importance*), hingga 9, menunjukkan tingkat kepentingan yang paling tinggi (*extreme importance*). Intensitas kepentingan dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 2. 2 Penilaian Kepentingan Dua elemen

| <b>Intensitas<br/>Kepentingan</b> | <b>Keterangan</b>            |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1                                 | Kedua elemen sama pentingnya |

|           |   |
|-----------|---|
| 3         | Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya                                   |
| 5         | Elemen yang satu lebih penting daripada elemen lainnya  |
| 7         | Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen yang lainnya                                   |
| 9         | Satu elemen mutlak penting daripada yang lainnya  |
| 2,4,6,8   | Nilai antara dua nilai pertimbangan yang mirip, atau tidak pasti                                      |
| Kebalikan | Jika aktifitas I mendapat satu angka dibanding dengan aktifitas j, maka j memiliki nilai kebalikannya |

---

### 3. *Synthesis of Priorityext (Si)*

Menetapkan prioritas elemen-elemen kriteria merupakan penilaian terhadap kontribusi atau bobot elemen-elemen tersebut terhadap tujuan pengambilan keputusan. AHP mengadopsi metode perbandingan berpasangan antara dua elemen untuk menganalisis prioritas elemen, sehingga semua elemen yang relevan tercakup dalam proses ini. Penentuan prioritas ini didasarkan pada pandangan para ahli dan pihak terkait yang memiliki kepentingan dalam pengambilan keputusan, baik melalui diskusi langsung maupun kuisisioner. Tahap dalam menentukan prioritas elemen adalah:

- Menyusun matriks perbandingan berpasangan, yaitu membandingkan elemen secara berpasangan sesuai kriteria yang diberikan.
- Matriks perbandingan berpasangan diisi dengan menggunakan bilangan untuk merepresentasikan kepentingan relatif dari setiap elemen.

Tabel 2. 3 Matriks Perbandingan

|       | $C_1$    | $C_2$    | ...      | $C_i$    |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| $C_1$ | 1        | $C_{12}$ | ...      | $C_{ji}$ |
| $C_2$ | $C_{ij}$ | 1        | ...      | $C_{ji}$ |
| ...   | ...      | ...      | ...      | $C_{ji}$ |
| $C_j$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}$ | 1        |

Formula perhitungan untuk mengisi kolom  $C_{ij}$  adalah dengan Persamaan 1.

$$C_{ij} = \frac{1}{C_{ji}}$$

#### 4. *Logical Consistency*

*Logical consistency* merupakan karakteristik penting AHP. Hal ini dicapai dengan mengagresikan seluruh *eigen vector* yang diperoleh dari berbagai tingkatan hierarki dan selanjutnya diperoleh suatu *vektor composite* tertimbang yang menghasilkan urutan pengambilan keputusan.

Metode AHP sering digunakan dalam proses pengambilan keputusan untuk menyelesaikan berbagai masalah seperti perencanaan, penentuan alternatif, pengaturan prioritas, pemilihan kebijakan, menentukan kebutuhan, peramalan hasil, perencanaan sistem, pengukuran kinerja, optimisasi, dan penyelesaian konflik (Afriliansyah et al., 2018). AHP mengharuskan pemilihan nilai alternatif saat membandingkan berpasangan karena cenderung tidak pasti, dan nilai-nilai tersebut harus dipertimbangkan kembali dalam banyak penilaian perbandingan berpasangan. Proses pemecahan masalah dengan menggunakan metode AHP, menurut (Hanifah, 2021) dijabarkan sebagai berikut:

1. Memetakan masalah dan merumuskan solusi yang diinginkan, kemudian menyusun struktur *hierarki* dari berbagai aspek permasalahan yang terkait.
2. Menentukan prioritas elemen
  - a) Tahap awal dalam menetapkan prioritas elemen adalah melakukan perbandingan satu demi satu antara elemen sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.
  - b) Matriks perbandingan pasangan diisi dengan nilai numerik untuk menggambarkan tingkat kepentingan relatif dari satu elemen terhadap elemen lainnya. Matriks K merupakan matriks perbandingan pasangan antar kriteria yang digunakan untuk menggambarkan hubungan relatif antar kriteria.
3. Pada tahap sintesis, pertimbangan dari perbandingan berpasangan digabungkan untuk mendapatkan prioritas keseluruhan. Tindakan yang dilakukan dalam tahap ini meliputi:
  - a) Total nilai-nilai dari setiap kolom pada matriks K dihitung.
  - b) Tiap nilai dalam kolom dibagi dengan total kolomnya untuk menghasilkan matriks yang ternormalisasi.
  - c) Total nilai-nilai dari setiap baris dihitung dan kemudian dibagi dengan jumlah elemen untuk mendapatkan bobot prioritas.
4. Mengukur Konsistensi

Dalam proses pengambilan keputusan, penting untuk mengevaluasi tingkat konsistensi karena keputusan yang diambil dari pertimbangan yang tidak konsisten dapat mengarah pada hasil yang tidak dapat diandalkan. Tindakan yang dilakukan dalam langkah ini adalah sebagai berikut:

- a) Nilai di setiap kolom pertama akan dikalikan dengan bobot prioritas elemen pertama, kemudian nilai di setiap kolom kedua akan dikalikan dengan bobot prioritas elemen kedua, dan seterusnya.
- b) Total dari setiap baris akan dihitung.
- c) Hasil penjumlahan baris akan dibagi dengan bobot prioritas yang sesuai, menghasilkan nilai lambda ( $\lambda$ ).

$$\lambda = \frac{\Sigma \text{Baris}}{\text{Prioritas}}$$

- d) Total lambda ( $\lambda$ ) akan dijumlahkan dan hasilnya akan dibagi dengan jumlah elemen yang ada, disebut sebagai  $\lambda$  maks

$$\lambda \text{ max} = \frac{\Sigma \lambda}{n}$$

Keterangan:

n = banyaknya elemen yang dibandingkan

5. Hitung Indeks Konsistensi/*Consistency Index* (CI) dengan rumus:

$$CI = \frac{(\lambda \text{max} - n)}{n - 1}$$

Keterangan:

n = banyaknya elemen yang dibandingkan

6. Selanjutnya hitung Rasio Konsistensi/*Consistency Ratio* (CR) menggunakan rumus

$$CR = \frac{CI}{RC}$$

Keterangan:

CR = *Consistency Ratio*/Rasio Konsistensi

CI = *Consistency Index*/Indeks Konsistensi

RC = *Random Consistency*/konsistensi *Random*

Nilai RC telah ditetapkan berdasarkan matriks perbandingan yang telah dibentuk dan dapat dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 4 Perbandingan Nilai RC dengan Ukuran Matriks

| Ukuran Matriks | Nilai RC |
|----------------|----------|
| 1,2            | 00.0     |
| 3              | 0.58     |
| 4              | 0.90     |
| 5              | 1.12     |
| 6              | 1.24     |
| 7              | 1.32     |
| 8              | 1.41     |
| 9              | 1.45     |
| 10             | 1.49     |
| 11             | 1.51     |
| 12             | 1.48     |
| 13             | 1.56     |
| 14             | 1.57     |
| 15             | 1.59     |

7. Pemeriksaan konsistensi hirarki dilakukan dengan memastikan bahwa nilai yang diperoleh tidak melebihi 10%. Jika melebihi, maka perlu dilakukan perbaikan pada penilaian data. Namun, jika Rasio Konsistensi (CI/RC) kurang dari atau sama dengan 0,1, maka hasil perhitungan dianggap tepat

### 2.2.5 F-AHP

Penelitian ini menggunakan metode FAHP. AHP dapat digunakan karena dalam AHP masalah utama yang kompleks akan diuraikan hingga ke bentuk yang lebih terstruktur dengan cara suatu masalah disusun dari berbagai pilihan yang dapat berupa kriteria yang sebelumnya telah dibentuk kedalam struktur (*hierarki*) terlebih dahulu, sehingga dapat dinilai secara subjektif lalu membuat keputusan guna mengembangkan atau membuat kesimpulan. Pada penelitian ini AHP diterapkan untuk pemilihan bahan bakar *boiler* yang paling efisien dengan menggunakan beberapa faktor yang nantinya akan menjadi kriteria untuk penilaian dari setiap jenis bahan bakar. Akan tetapi metode AHP memiliki kekurangan yaitu ketidakpresisian dalam mengatasi *multi criteria decision making*, maka

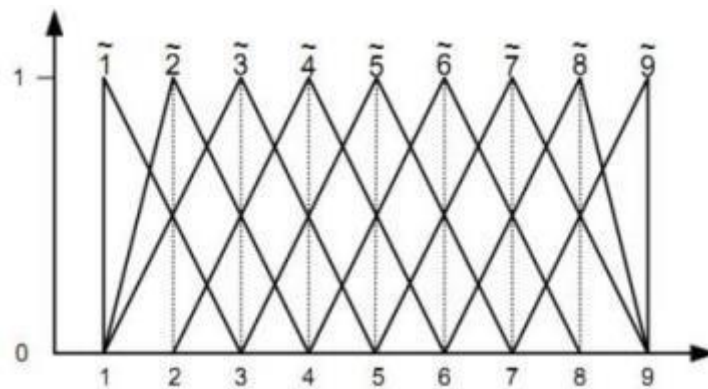
dari itu dibutuhkan pendekatan *fuzzy* guna menutupi kekurangan pada metode AHP karena fuzzy menyediakan cara untuk menggambarkan kesimpulan pasti dari informasi yang samar-samar, ambigu dan tidak tepat. Peran *fuzzy* pada penelitian ini adalah mengfuzzifikasikan skala AHP menjadi skala *Fuzzy*. Proses pengambilan keputusan ini melalui beberapa langkah. Dengan menggunakan Struktur Hirarki, tujuan/*goal* yang hendak dicapai, kriteria yang relevan, dan opsi alternatif dapat ditetapkan. Langkah – langkah metode *Fuzzy AHP*, adalah:

1. Membuat struktur hierarki masalah yang akan diselesaikan dan menentukan perbandingan matriks berpasangan antar kriteria dengan skala TFN seperti pada Tabel berikut.

Tabel 2. 5 Skala TFN

| Skala<br>Ahp | Skala <i>fuzzy</i>                                 | <i>Invers skala fuzzy</i> |
|--------------|--|---------------------------|
| 1            | 1 = (1,1,1) = jika diagonal<br>(1,1,3) = selainnya | (1/3, 1/1, 1/1)           |
| 3            | 3 = (1,3,5)  | (1/5, 1/3, 1/1)           |
| 5            | 5 = (3,5,7)  | (1/7, 1/5, 1/3)           |
| 7            | 5 = (3,5,7)  | (1/9, 1/7, 1/5)           |
| 9            | 9 = (7,9,9)  | (1/9, 1/9, 1/7)           |
| 2            | 2 = (1,2,4)  | (1/4, 1/2, 1/1)           |
| 4            | 4 = (2,4,6)  | (1/6, 1/4, 1/2)           |
| 6            | 6 = (4,6,8)  | (1/8, 1/6, 1/4)           |
| 8            | 8 = (6,8,9)  | (1/9, 1/8, 1/6)           |

Skala fuzzifikasi perbandingan kepentingan antara dua kriteria dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Skala Fuzzifikasi

2. Menentukan nilai sintesis *fuzzy* ( $S_i$ ) prioritas dengan persamaan 7, 8, dan 9.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j x \left[ \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

Dimana:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left[ \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right]$$

Sedangkan,

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j}{i} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

Dimana  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  adalah penjumlahan baris pada matriks berpasangan,  $m_i$   $j = 1$   $n$   $i = 1$  adalah penjumlahan kolom pada perbandingan matriks berpasangan.

Keterangan:

$M$  = Objek (kriteria, subkriteria, atau alternatif)

$i$  = baris ke- $i$ ,

$j$  = kolom ke- $j$ ,

$l$  = nilai *lower*,

$m$  = nilai *medium*,

$u$  = nilai *upper*

3. Menentukan nilai vektor ( $V$ ) dan nilai *ordinat defuzzifikasi* ( $d'$ ), jika hasil yang didapatkan pada matriks *fuzzy*,  $M_2 \geq M_1$  dimana  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  dan  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  maka nilai vektor dapat dilihat pada persamaan berikut.

$V (M_2 \geq M_1) =$

$$\sup [\min (\mu_{M_1}(x), \min(\mu_{M_2}(y)))]$$

Dimana sub merupakan batas atas terkecil dari hasil minimal vektor. Atau seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini untuk menentukan nilai vektor.

$$V(M2 \geq M1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m2 \geq m1 \\ 0 & \text{if } l1 \geq u2 \\ \frac{l1-u2}{(m2-u2)-(m1-l1)} & \text{lainnya} \end{cases}$$

Jika hasil nilai *fuzzy* lebih besar dari k,  $M_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) maka nilai vektor dapat didefinisikan sebagai persamaan dibawah ini.

$$V(M \geq M1, M2, \dots, Mk) = V(M \geq M1) \text{ dan}$$

$$V(M \geq M2) \text{ dan}$$

$$V(M \geq Mk) = \min V(M \geq M_i)$$

Ordinat *defuzzyfikasi* didefinisikan pada persamaan dibawah ini.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

Untuk  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $k \neq i$ , maka diperoleh nilai bobot vektor seperti pada persamaan dibawah ini.

$$w' = (d'(A1), d'(A2), \dots, d'(A_n))^T$$

Dimana  $A_i = 1, 2, \dots, n$  adalah vektor *fuzzy* (W)

4. Normalisasi nilai bobot vektor *fuzzy* (W) setelah dilakukan normalisasi dari persamaan yang sudah dijabarkan di atas, maka nilai bobot vektor yang ternormalisasi adalah seperti persamaan dibawah ini.

$$W = (d(A1), d(A2), \dots, d(A_n))^T$$

### 2.2.6 Penerapan F-AHP dalam Matlab

Matlab digunakan sebagai *toolbox* dalam perhitungan *fuzzy analytical hierarchy process* (FAHP) karena dapat mempermudah peneliti dalam penilaian beberapa bahan bakar *boiler* di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Berikut merupakan tahap-tahap perhitungannya:

Pada tahap pertama yaitu menginput data-data yang akan digunakan dalam pengolahan data menggunakan *toolbox* matlab.

Tabel 2. 6 Tabel Data Objek dan Kriteria

| Nama Objek | Kriteria1 | Kriteria2 | Kriteria3 |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| ...        | ...       | ...       | ...       |
| ...        | ...       | ...       | ...       |
| ...        | ...       | ...       | ...       |

Contoh data awal adalah sebagai berikut:

Nama Objek = {'...' '...' '...' };

Data = [ ... ..  
 ... ..  
 ... .. ];

Langkah-langkah dalam penggunaan algoritma ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan batas maksimal untuk kriteria yang sudah ditentukan.

$\text{maksKriteria1} = \dots;$

$\text{maksKriteria2} = \dots;$

$\text{maksKriteria3} = \dots;$

2. Melakukan normalisasi data. Proses normalisasi data pada setiap kriteria dilakukan dengan membagi nilai masing-masing data dengan nilai maksimal pada setiap kriteria. Normalisasi ini penting dilakukan untuk mencegah dominasi satu kriteria terhadap kriteria lainnya akibat nilai yang terlalu tinggi.

$\text{data}(:,1) = \text{data}(:,1) / \text{maksKriteria1};$

$\text{data}(:,2) = \text{data}(:,2) / \text{maksKriteria2};$

$\text{data}(:,3) = \text{data}(:,3) / \text{maksKriteria3};$

3. Menentukan hubungan antara kriteria yang diterapkan, dengan melibatkan tiga kriteria dalam konteks ini, yaitu: Kriteria1, Kriteria2, dan Kriteria3. Kriteria1 0,5 kali lebih penting daripada Kriteria2, Kriteria1 0,5 kali lebih penting daripada Kriteria3, dan Kriteria2 0,25 kali lebih penting daripada Kriteria3.

Tabel 2. 7 Relasi antar Kriteria

| Kriteria  | Kriteria1 | Kriteria2 | Kriteria3 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Kriteria1 | ...       | ...       | ...       |

|           |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|
| Kriteria2 | ... | ... | ... |
| Kriteria3 | ... | ... | ... |

Dalam penerapan dalam Matlab, nilai matriks bagian segitiga bawah sementara diisi dengan “0”. Untuk selanjutnya (nantinya) akan diisi dengan nilai seperti diatas (saat perhitungan).

$$\text{relasiAntarKriteria} = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots \end{bmatrix};$$

- Proses menentukan TFN (Triangular Fuzzy Number) melibatkan serangkaian tiga angka yang membentuk kurva fuzzy, dimulai dari nilai 0, naik ke 1, dan kemudian turun kembali ke 0. TFN terdiri dari dua set data, di mana set pertama adalah nilai sebenarnya dari TFN, dan set kedua adalah invers dari TFN, di mana setiap angka dibalik dan diubah menjadi  $1/x$ .

$$\text{TFN} = \left\{ \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \right.$$

$$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \right\}$$

- Melakukan perhitungan rasio konsisten untuk memastikan bahwa matriks relasi antara kriteria sudah bernilai benar.

$$\text{RasioKonsistensi} = \text{HitungKonsistensiAHP}(\text{relasiAntarKriteria})$$

Pada poin 5 ini, membuat fungsi HitungKonsistensiAHP, Adapun fungsi yang dibuat adalah sebagai berikut:

```

function [RasioKonsistensi] =
HitungKonsistensiAHP(relasiAntarKriteria)
%5a. Menentukan Indeks Konsistensi Acak yang digunakan
%Nilai yang nantinya dipakai adalah nilai pada indeks sebanyak
jumlah kriteria yang ada
indeksAcak = [0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49];
%5b. Menghitung jumlah kriteria yang sesuai dengan ukuran matriks
relasi antar kriteria
[op, jumlahKriteria] = size(relasiAntarKriteria);
%5c. Menghitung nilai lambda, yaitu nilai eigenvalue dengan
menggunakan fungsi eigenvector
[opp, lambda] = eig(relasiAntarKriteria);
%5d. Menentukan maksimal nilai lambda yang telah dihitung
sebelumnya
maksLambda = max(max(lambda));

%5e. Menentukan nilai indeks konsistensi dengan rumus (maksLambda-
n)/(n-1)
IndeksKonsistensi = (maksLambda - jumlahKriteria)/(jumlahKriteria-
1);

%5f. Menghitung rasio konsistensi untuk mendapatkan jawaban akhir
RasioKonsistensi = IndeksKonsistensi/indeksAcak(1,jumlahKriteria);

%5g. Jika nilai rasio konsistensi lebih dari 0.1, maka tampilkan
pesan kesalahan

```

Gambar 2. 3 *Pseudocode*

```

if RasioKonsistensi > 0.10
    str = 'Rasio Konsistensi adalah %% %1.2f. Matriks yang dievaluasi tidak konsisten!';
    str = sprintf(str,RasioKonsistensi);
    disp(str);
end
end

```

Gambar 2. 4 *Pseudocode*

6. Jika rasio konsistensi yang dihasilkan memiliki nilai kurang dari 0.10, maka akan dilakukan perhitungan berikutnya berikutnya yaitu:

```

if RasioKonsistensi < 0.10
    % Metode Fuzzy AHP
    [bobotAntarKriteria, relasiAntarKriteria] =
    FuzzyAHP(relasiAntarKriteria, TFN);

    % Hitung nilai skor akhir
    ahp = data * bobotAntarKriteria';

    disp('Hasil Perhitungan dengan metode Fuzzy AHP')
    disp('Nama Objek, Skor Akhir, Kategori')
  
```

Gambar 2. 5 *Pseudocode*

- a. Melakukan perhitungan bobot menggunakan metode Fuzzy AHP. Pada poin 6 ini perlu dibuat fungsi baru untuk menghitung bobot dengan metode AHP sebagai berikut: (berserta penjelasan tentang fungsi pada bagian komentar poin 6a - 6i)
- b. Menghitung nilai skor akhir dengan mengalihkan data dengan masing-masing bobot antar kriteria

```

function [bobotAntarKriteria, relasiAntarKriteria] =
FuzzyAHP (relasiAntarKriteria, TFN)
fuzzyRelasi= {};
[jumlahData, jumlahKriteria] = size(relasiAntarKriteria);

%* Lakukan konversi masing-masing relasi antar kriteria
menjadi TFN (Triangular Fuzzy Number)

%6a. Lakukan perhitungan pada matriks relasi antar kriteria
%Masukkan nilai pada bagian segitiga bawah sesuai dengan
nilai sesuai pada poin 3.
  
```

Gambar 2. 6 *Pseudocode*

```

for i=1:jumlahData
    for j=i+1:jumlahData
        relasiAntarKriteria(j,i) = 1 /
relasiAntarKriteria(i,j);
    end
end

%6b. Lakukan perhitungan pada matriks relasi antar kriteria
%Jika nilai matriks relasi antar kriteria lebih dari 1,
%maka nilai TFN yang digunakan adalah nilai kriteria pada
kelompok pertama
%Jika nilai matriks relasi antar kriteria kurang dari 1,
%maka nilai TFN yang digunakan adalah nilai kriteria pada
kelompok kedua
for i=1:jumlahData
    for j=1:jumlahKriteria
        kriteria = relasiAntarKriteria(i,j);
        if kriteria >= 1
            fuzzyRelasi{i,j} = TFN{kriteria ,1 };
        else
            fuzzyRelasi{i,j} = TFN{round(kriteria^-1) ,2 };
        end
    end
end

%6c. Hitung jumlah dari masing-masing TFN yang dipakai dalam
matriks relasi antar kriteria
%Kemudian dari nilai tersebut, jumlahkan nilai pada masing-
masing kolom kriteria

```

Gambar 2. 7 *Pseudocode*

```
for i=1: jumlahData
    barisRelasi = [fuzzyRelasi {i:}];
    jumlahRelasiPerBaris {1,i} =
sum(reshape(barisRelasi,3,[]));
end
RelasiPerData = [jumlahRelasiPerBaris {1:}];
jumlahRelasiPerKolom = sum (reshape (RelasiPerData,3,[]));
```

Gambar 2. 8 *Pseudocode*

```

%6d. Lakukan perhitungan pada masing-masing nilai relasi pada
masing-masing kolom
%Lakukan pembagian dengan jumlah relasi pada masing-masing
kolom
%Kemudian catat jumlah dari pembagian tersebut untuk setiap
kolomnya
for i=1:jumlahData
    RelasiPerData = [jumlahRelasiPerBaris{1,i}];
    for j=1:3
        nilaiRelasiPerKolom = jumlahRelasiPerKolom(1,j);
        jumlahPerKolom(1,j) =
(RelasiPerData(1,j))*(1/nilaiRelasiPerKolom);
    end
    jumlahRelasiPerBaris{1,i} = jumlahPerKolom;
end

%*Lakukan perhitungan derajat kemungkinan (poin 6e - 6g)
%Rumus yang digunakan adalah:
%
%      /---
%      | jika m2>=m1          1
%      |
%      | jika l1>=l2          0
% V(M2>=M1) = <
%      |                      11-u2
%      | selain itu          -----
%      |                      (m1-u2)-(m1-11)
%      \---

```

Gambar 2. 9 Pseudocode

```

derajatKemungkinan = zeros(jumlahData*(jumlahData-1),3);
idxBaris = 1;

%6e. Lakukan perhitungan pada masing-masing data dengan
indeks baris dan kolom tidak sama
for i=1:jumlahData
    for j=1:jumlahData
        if i~=j
            %6f. Masukkan nilai awal derajat kemungkinan, M1, dan M2 sesuai rumus yang
telah dijelaskan sebelumnya
            derajatKemungkinan(idxBaris,[1 2]) = [i j];
            M1 = jumlahRelasiPerBaris{1,i};
            M2 = jumlahRelasiPerBaris{1,j};

            %6g. Hitung nilai derajat kemungkinan menggunakan rumus yang telah
dijelaskan sebelumnya
            if M1(1,2) >= M2(1,2)
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = 1;
            elseif M2(1,1) >= M1(1,3)
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = 0;
            else
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = (M2(1,1)-M1(1,3))/((M1(1,2)-M1(1,3))-
(M2(1,2)-M2(1,1)));
            end

            idxBaris = idxBaris + 1;

        end
    end
end
end

```

Gambar 2. 10 *Pseudocode*

```

%6h. Hitung nilai bobot menggunakan nilai derajat kemungkinan minimal pada masing-
masing kriteria
bobotAntarKriteria = zeros(1,jumlahData);
for i=1:jumlahData,
    bobotAntarKriteria(1,i) =
    min(derajatKemungkinan([find(derajatKemungkinan(:,1) == i)],[3]));
end

%6i. Lakukan normalisasi terhadap nilai bobot yang telah dihitung
%yaitu dengan cara membagi masing-masing nilai bobot dengan total semua bobot
bobotAntarKriteria =
bobotAntarKriteria/sum(bobotAntarKriteria);

end

```

Gambar 2. 11 Pseudocode

7. Menentukan rentang kriteria untuk kesimpulan nilai yang digunakan dalam perhitungan.

| <i>Range</i> | <b>Keterangan</b> |
|--------------|-------------------|
| < 0,6        | Kurang            |
| 0,6 – 0,69   | Cukup             |
| 0,7 – 0,79   | Baik              |
| >= 0,8       | Sangat Baik       |

Sehingga untuk menampilkan hasil maka dapat ditampilkan dengan syntax pada matlab sebagai berikut:

```
for i = 1:size(ahp, 1)
    if ahp(i) < 0.4
        status = 'Kurang';
    elseif ahp(i) < 0.5
        status = 'Cukup';
    elseif ahp(i) < 0.6
        status = 'Baik';
    else
        status = 'Sangat Baik';
    end

    disp([char(namaKaryawan(i)), blanks (13 - cellfun('length',namaKaryawan(i))), ', ', ...
num2str(ahp(i)), blanks(10 - length(num2str(ahp(i))), ', ', ...
char(status))])

end
```

Gambar 2. 12 *Pseudocode*

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*) yang terletak di Jl. Mt Haryono No 23 A Pontianak, Kubu Raya, Kalimantan Barat Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Objek pada penelitian ini adalah kebutuhan *steam* pabrik dengan penentuan bahan bakar *boiler*.

#### 3.2 Subjek Penelitian

Subjek pada penelitian ini merupakan seorang *expert* yaitu *senior assistant process supervisor* dan pihak laboratorium yang bekerja di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang bernama PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*).

#### 3.3 Sumber Data

Menurut (Samsu, 2013) sumber data adalah subjek darimana data diperoleh. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sumber yaitu data primer dan data sekunder. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### A. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dengan survei lapangan yang menggunakan semua metode pengumpulan data *original*. Data primer pada penelitian ini didapatkan melalui wawancara secara langsung kepada *senior assistant process supervisor* dan observasi di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *palm oil mill*. Data yang akan digunakan adalah bahan bakar yang tersedia pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM seperti data analisis kandungan dari serat kelapa sawit, cangkang kelapa sawit dan juga karakteristik dari setiap bahan bakar yang ada.

#### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini berbagai macam metode, diantaranya adalah sebagai berikut:

##### 1. Observasi

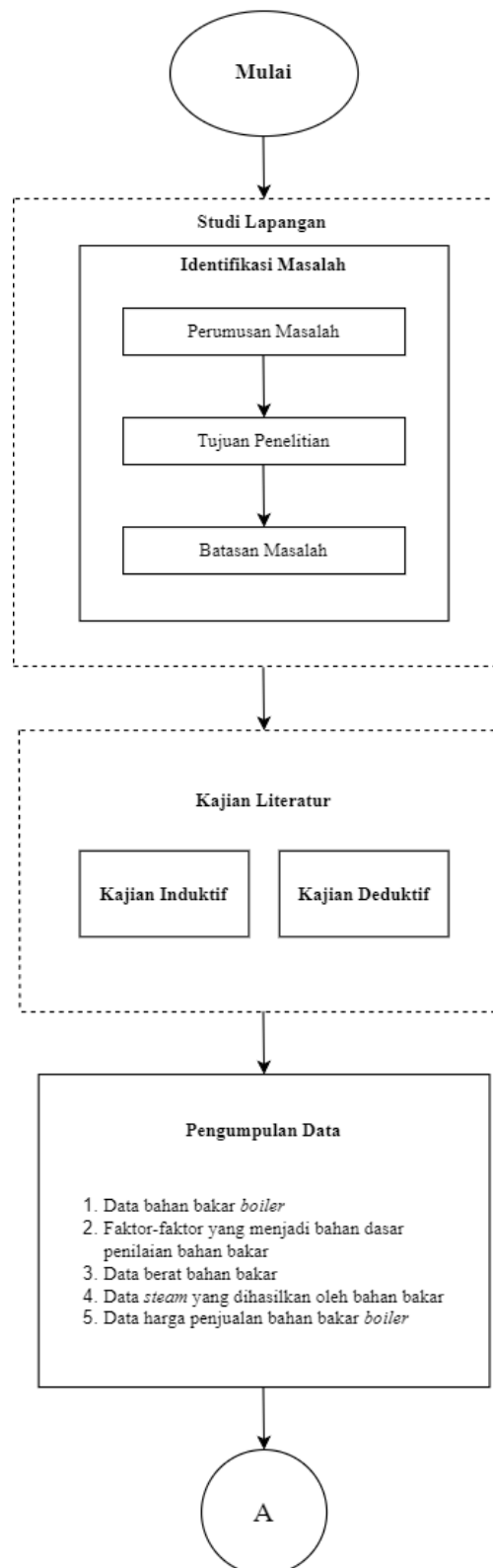
Observasi yang dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*) adalah dengan mengamati langsung proses pengolahan kelapa sawit, penggunaan bahan bakar pada *boiler*, kebutuhan *steam* pabrik, dan *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *boiler*.

## 2. Wawancara

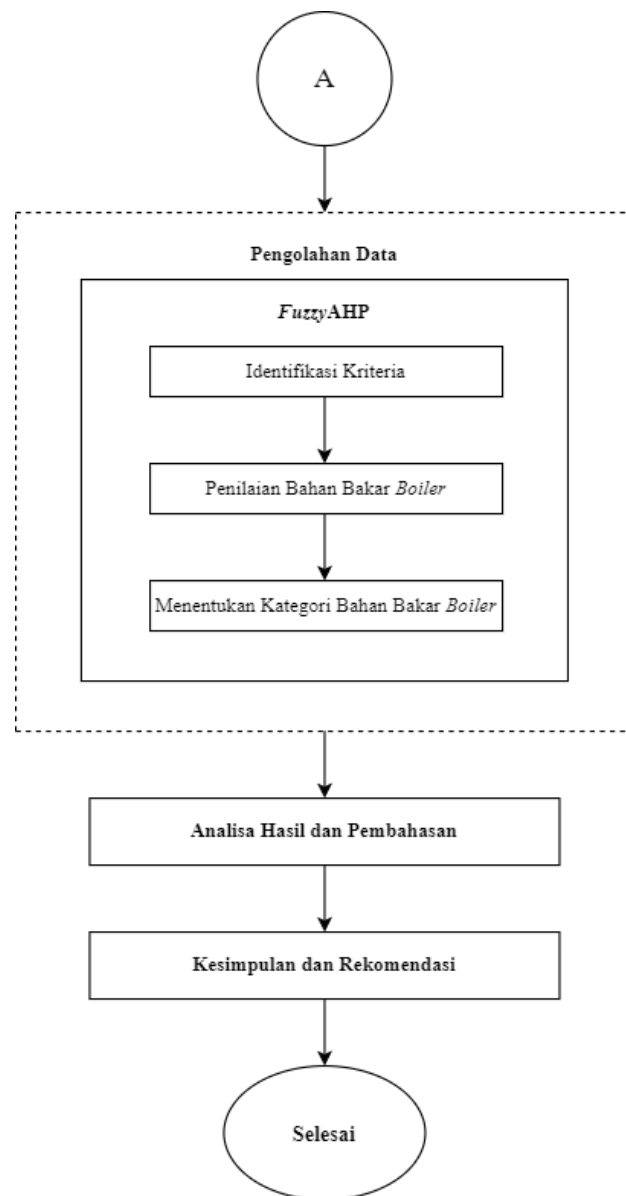
Wawancara yang dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM (*Palm Oil Mill*) adalah dengan cara melakukan tanya jawab dengan pihak-pihak terkait yaitu dengan pihak laboratorium dan salah satu *expert* seorang *senior assistant process supervisor*, dan data yang didapatkan berupa berat dari setiap bahan bakar *boiler* yang digunakan dan harga jual dari bahan bakar *boiler*.

### **3.5 Alur Penelitian**

Alur penelitian merupakan langkah-langkah penelitian yang dapat dilihat pada diagram alir berikut ini serta uraiannya.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian



Gambar 3. 2 Alur Penelitian

Pada Gambar di atas adalah tahapan dari alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini. Berikut merupakan penjelasan masing-masing tahapan alur penelitian di atas:

1. Mulai

Penelitian ini dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, yang dimulai pada tanggal 25 September 2023. Pengambilan data dilakukan pada bagian proses, stasiun *boiler*, dan laboratorium.

2. Studi Lapangan

Peneliti melakukan observasi secara langsung di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM untuk mengetahui proses produksi dari tandan buah segar (TBS) menjadi CPO (*crude palm oil*), serta melakukan wawancara terhadap *expert* dan beberapa pekerja untuk mendapatkan informasi data yang dibutuhkan peneliti. Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah, peneliti menentukan permasalahan yang terjadi pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM serta memberikan perbaikan atau rekomendasi. Perumusan masalah penting untuk memudahkan penyelesaian masalah dan mencapai tujuan penelitian. Setelah itu, peneliti menetapkan batasan masalah untuk menjaga fokus penelitian dan mencegah penyebaran yang tidak terkendali.

### 3. Kajian Literatur

Pada tahap ini, terdapat hasil analisis dari literatur yang digunakan sebagai landasan bagi penelitian, merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Kajian literatur terbagi menjadi dua, yakni kajian deduktif dan kajian induktif. Berikut adalah penjelasannya:

#### A. Kajian Deduktif

Kajian deduktif berisi terkait teori-teori atau landasan yang digunakan dalam penelitian.

#### B. Kajian Induktif

Kajian Induktif berisi mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan.

### 4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini peneliti mengumpulkan data yang akan digunakan dalam penelitian di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Untuk pengumpulan data primer dilakukan dengan cara observasi dan wawancara kepada beberapa pihak terkait dengan stasiun *boiler* dan beberapa pihak laboratorium.

#### A. Observasi

Metode observasi digunakan untuk melihat dan mengamati segala yang terjadi pada proses produksi, khususnya pada stasiun *boiler*. Selain itu, peneliti juga mendapatkan data KW (*Kilowatt*) dan kebutuhan *steam* pabrik serta *steam* yang dihasilkan bahan bakar *boiler* dengan metode observasi ini.

#### B. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan pihak terkait guna mengumpulkan informasi terkait masalah yang sedang dihadapi. Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan melalui sesi tanya jawab dengan *Senior Assistant Process Supervisor* dan pihak laboratorium dikarenakan orang tersebut yang mengetahui lebih detail terkait proses produksi dan bahan bakar yang digunakan *boiler*, faktor-faktor yang menjadi dasar penilaian bahan bakar *boiler*, data berat bahan bakar *boiler*, dan harga penjualan bahan bakar *boiler*.

#### C. Dokumentasi Data Perusahaan

Dokumentasi data perusahaan merupakan teknik untuk mengumpulkan data perusahaan yang dibutuhkan. Data tersebut antara lain data KW (*Kilowatt*), *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *boiler* dan proses pengambilan data oleh peneliti.

#### D. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mendapatkan data. Dimana data ini bersumber dari jurnal, *e-book*, maupun artikel yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian. Adapun literatur yang digunakan pada penelitian ini membahas tentang pabrik kelapa sawit, bahan bakar *boiler*, *fuzzy analytical hierarchy process* berdasarkan peneliti terdahulu.

### 5. Pengolahan Data

Setelah melakukan pengumpulan data, tahap selanjutnya adalah pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan *toolbox* Matlab. Langkah pertama yaitu dengan mengidentifikasi kriteria. Identifikasi kriteria dilakukan dengan memasukkan data faktor-faktor yang dijadikan sebagai bahan penilaian perusahaan. Setelah dilakukannya pengolahan data, akan muncul hasil penilaian bahan bakar *boiler* oleh *toolbox* Matlab. Kategori dari setiap bahan bakar *boiler* akan tertera secara bersamaan dengan munculnya hasil penilaian bahan bakar *boiler*.

### 6. Analisa Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini bertujuan untuk memahami permasalahan dan keterkaitan antara penyebab dengan masalah yang terjadi sehingga nantinya dapat ditemukan solusi yang dapat direkomendasikan kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM untuk perbaikan.

### 7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap kesimpulan, peneliti diharapkan memberikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Setelah itu peneliti memberikan saran kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM khususnya pada bagian penggunaan bahan bakar boiler agar lebih efisien serta menguntungkan bagi perusahaan.

#### 8. Selesai

Penelitian dan pengumpulan data di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM dapat dikatakan selesai setelah menyelesaikan seluruh tahap dan mengakhiri penelitian tersebut.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, yang berlokasi di Jl. Mt Haryono No 23 A Pontianak, Kubu Raya, Kalimantan Barat Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Data yang dikumpulkan merupakan data hasil dari wawancara kepada *expert*, yaitu *Senior asst. process supervisor* yang berupa jumlah buah yang dihasilkan per jam (*Mill TroughtPut/MTP*), GBB atau berat dari setiap bahan bakar terhadap MTP, dari setiap bahan bakar, persentase GBB dari setiap bahan bakar terhadap MTP, dan juga data aliran proses produksi.

##### 4.1.1 Profil Perusahaan

PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, adalah perusahaan yang bergerak di bidang perkebunan sawit. Perusahaan ini berdiri sekitar tahun 1992 dan berlokasi di Desa Mega Timur, Kecamatan Sungai Ambawang, Kabupaten Pontianak (saat itu Kubu Raya dan Mempawah masih menyatu dalam satu wilayah dan belum dimekarkan). PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM merupakan perusahaan yang diinisiasi oleh investor asing dari Singapura dan Malaysia. Sampai saat ini, perusahaan tersebut masih bernaung di bawah kendali Wilmar *Group* yang bergerak di bidang nabati dan perkebunan.

PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM telah berkembang pesat dan terus melakukan ekspansi lahan dalam rangka meningkatkan produktivitas hasil yang diharapkan. Ekspansi tersebut bahkan telah sampai hingga Kecamatan Kuala Mandor B. Secara umum, PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM memiliki luas lahan kurang lebih 18.312 hektar yang tersebar dari kecamatan Sungai Ambawang hingga Kecamatan Kuala Mandor B. Bahkan, PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM telah melakukan *replanting* atau tanam ulang sebanyak dua kali. PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM juga sudah terakreditasi *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO). Akreditasi ISPO berada di bawah Lembaga Kementerian Pertanian yang memberikan rekomendasi dan kualifikasi tertentu.

Di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, susunan struktur organisasi tertinggi dipegang oleh *Estate Manager* (EM) yang dibantu oleh Direktur Manajer (DM).

Kemudian, ada *Front Office* yang bertugas di bagian administrasi atau perkantoran. Di samping itu, ada Personalia dan *General Affair* (PGA) yang bertugas mengawasi dan

memantau perkembangan sumber daya manusia (SDM) pekerja di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Berikutnya ada *Human Resources Development* (HRD) yang bertugas merekrut pekerja dan meningkatkan kemampuan pekerja yang dibutuhkan. HRD memiliki asisten yang bertugas menjaga dan bertanggung jawab atas mandor di lapangan. Selain itu, asisten HRD juga bertugas mengawasi dan mengarahkan mandor. HRD juga dibantu oleh mandor dalam mengakomodir pekerja di lapangan. Dengan kata lain, mandor adalah tangan kanan HRD untuk merekrut, mengawasi, serta meningkatkan SDM para pekerja di lapangan. Di dalam struktur organisasi suatu perusahaan, terdapat variasi struktural yang didesain sesuai kebutuhan perusahaan itu sendiri. Semakin sistematis suatu struktural, maka semakin tinggi nilai koordinasi secara hierarki. Terdapat banyak perbedaan bila dikomparasi dengan birokrasi pemerintahan. Misalnya, birokrasi cenderung lemah perihal hierarki, sehingga kerap kali terjadi maladministratif kewenangan. Namun, struktural di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM sudah menjadi bagian yang paten dan wajib dilaksanakan oleh setiap pekerjanya sesuai peran dan tugasnya masing-masing.

Saidah *et al.* (2022) mengemukakan bahwa *boiler* merupakan bagian penting dari suatu sistem pembangkit uap yang berbentuk seperti wadah tertutup, bertujuan untuk mengubah air jenuh menjadi uap (*steam*) jenuh dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Komponen utama boiler umumnya terdiri dari pipa *evaporator/boiling*, alat pembakar, pompa, *blower*, air umpan, drum air, dan drum uap. Proses utama dalam *boiler* meliputi proses pembakaran dan pelepasan panas, serta perpindahan panas untuk menghasilkan uap dari air umpan. Berbagai jenis bahan bakar dapat digunakan dalam *boiler*, termasuk batu bara, minyak, gas, biomassa, dan panas limbah. Menurut Qamaruddin & Sikki (2016) proses pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan energi dalam bentuk panas secara signifikan. Proses ini memiliki peranan krusial dalam industri yang menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi. Hampir semua sektor industri saat ini mengandalkan proses pembakaran sebagai salah satu komponen penting dalam penyediaan energi untuk berbagai keperluan. Beberapa industri bahkan mengintegrasikan proses pembakaran sebagai unit utama dalam operasinya. Menurut Ahmad Roni *et al.* (2021) setelah dipanaskan oleh *boiler* bertekanan, air panas atau uap diproduksi untuk digunakan sebagai sumber panas atau pemanas dalam proses berikutnya. Transformasi energi pada boiler melibatkan konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, yang kemudian dimanfaatkan sebagai pemanas atau bahan bakar lainnya. Di pabrik kelapa sawit (PKS), *boiler* berfungsi sebagai generator uap air, yang nantinya digunakan di pembangkit listrik untuk menggerakkan turbin dan

menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini kemudian digunakan untuk berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin listrik, menerangi area pabrik, dan menyediakan daya untuk fasilitas perumahan karyawan. Sisa uap dari turbin dialirkan ke *Back Pressure Valve* (BPV) untuk digunakan sebagai sumber panas tambahan dalam proses produksi, seperti untuk perebusan.

#### 4.1.2 Tenaga Kerja

Karyawan pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM pada bagian *office* termasuk pekerja *non-shift* dan karyawan pada bagian operasional produksi termasuk pekerja *shift*:

Tabel 4. 1 Jam Tenaga Kerja

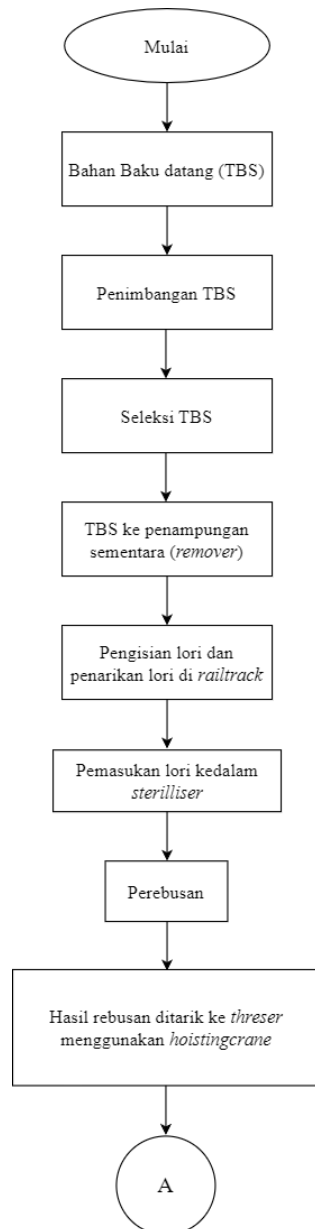
| NO | Hari          | Jam Kerja         | Jam Istirahat     | Keterangan              |
|----|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| 1  | Senin – Jumat | 07.00 – 16.00 WIB | 12.00 – 13.00 WIB | <i>Office</i>           |
| 2  | Sabtu         | 07.00 – 12.00 WIB | 12.00 – 13.00 WIB | <u><i>Office</i></u>    |
| 3  | Senin – Jumat | 07.00 – 16.00 WIB | 12.00 – 13.00 WIB | Operasional<br>Produksi |
| 4  | Sabtu         | 07.00 – 12.00 WIB | 12.00 – 13.00 WIB | Operasional<br>Produksi |
| 5  | Senin – Jumat | 16.00 – 00.00 WIB | 21.00 – 22.00 WIB | Operasional<br>Produksi |
| 6  | Sabtu         | 16.00 – 22.00 WIB | 21.00 – 22.00 WIB | Operasional<br>Produksi |

Karyawan operasional produksi pada bagian proses jam istirahat dibagi menjadi 2 bagian, yang pertama istirahat pada jam 11.00 – 12.00 WIB dan yang kedua istirahat pada jam 12.00 – 13.00 WIB agar pabrik tetap terawasi. Jumlah karyawan yang bekerja kurang lebih ada 130 orang. Karyawan yang bekerja pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM memiliki jam kerja efektif selama 7 jam. Jam kerja karyawan pada bagian operasional produksi sedikit berbeda dari jam kerja karyawan pada bagian *office*, di bagian operasional produksi terdapat jam kerja *overtime*. Jam kerja *overtime* itu sendiri

dikarenakan jumlah TBS (Tandan Buah Segar) yang masuk terbilang banyak dan hal tersebut menyebabkan proses produksi minyak menjadi lebih lama dari jam kerja efektif.

#### 4.1.3 Proses Produksi

Adapun alur proses produksi di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM seperti yang dijelaskan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi



Gambar 4. 2 Alur Proses Produksi

Berikut merupakan penjelasan dari alur proses produksi di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM:

1. Kedatangan bahan baku  
Pada kedatangan bahan baku buah kelapa sawit yang telah tiba di pabrik dari kebun perusahaan.
2. Penimbangan TBS (Tandan Buah Segar)  
Kelapa sawit yang telah diantar ke PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM ditimbang sebelum diproses.
3. Seleksi TBS  
Setelah ditimbang, buah kelapa sawit akan di cek kualitasnya sesuai dengan standar kualitas PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM.
4. TBS ke penampungan sementara (remover)  
TBS yang sudah diseleksi akan ditampung sementara sebelum dimasukkan kedalam lori.
5. Pengisian lori dan penarikan lori di *railtrack*  
TBS akan diisi kedalam lori, 1 lori setara dengan 3 ton TBS.
6. Pemasukan lori kedalam *sterilliser*  
Pada tahap ini, lori yang sudah terisi penuh oleh TBS akan direbus didalam *sterilliser* yang berisi 10 lori.
7. Perebusan  
Proses perebusan akan berlangsung selama 90 menit.
8. Hasil rebusan ditarik ke *thresher* menggunakan *hoistingcrane*  
Pada tahap ini, pabrik biasanya menggunakan mesin *hoisting crane* untuk mengangkat lori buah sawit dan isi buah sawit ke *bunch feeder (hooper)*. Hal ini berarti lori yang diangkat berisi Tandan Buah Sawit yang sudah direbut. Selanjutnya, ada *thresher* (bantingan) yang berfungsi untuk melepaskan buah sawit dari tandan sawit dengan cara mengangkat dan membandingnya ke *empty bunch conveyer* atau *konveyor* tandan sawit kosong.
9. Pengepresan  
Berikutnya ada *pressing machine* yang berfungsi untuk mengambil minyak dari buah kelapa sawit. Keberhasilan pengoperasian alat ini akan mempengaruhi kualitas minyak. Untuk itu, perlu dipastikan bahwa mesin yang digunakan adalah yang terbaik.

#### 10. Pemurnian Minyak

Setelah melalui mesin *screw press*, minyak kasar akan dimurnikan melalui beberapa proses berikut ini.

#### 11. Pengumpulan janjang kosong

Janjang yang sudah terpisah dari inti sawit akan proses pengepresan untuk dijadikan bahan bakar *Boiler (fiber)*.

#### 12. Penimbunan minyak

Setelah proses klarifikasi, minyak kelapa sawit yang telah dipisahkan dari berbagai elemen lainnya akan disimpan dalam tangki penyimpanan khusus. Tangki ini memungkinkan penyimpanan minyak dalam jumlah besar sebelum dikirim ke pelanggan atau tahap pemrosesan lebih lanjut. Pengaturan suhu di dalam tangki harus dijaga agar minyak tetap dalam kondisi yang baik.

#### 13. Pengutipan Inti Sawit (*Kernel*)

Sementara minyak kelapa sawit merupakan produk utama, inti (*kernel*) yang ada di dalam buah juga memiliki nilai. Tahap ini berfokus pada pengumpulan dan pemrosesan inti kelapa sawit. Inti dapat digunakan untuk menghasilkan minyak inti kelapa sawit (*palm kernel oil*), yang memiliki berbagai aplikasi dalam industri makanan dan *non-pangan*.

#### 14. Pemurnian air

Pabrik kelapa sawit menghasilkan air limbah selama proses produksi. Air ini harus diproses sebelum dilepaskan ke lingkungan. Stasiun pemurnian air bertanggung jawab atas pemrosesan dan pengelolaan air limbah agar memenuhi standar lingkungan yang ketat. Ini adalah langkah penting dalam menjaga dampak lingkungan yang minimal.

#### 15. Pembangkitan Tenaga

Stasiun pembangkit tenaga adalah jantung pabrik kelapa sawit, di mana energi yang diperlukan untuk berbagai tahap produksi dihasilkan. Biasanya, energi dihasilkan dari pembakaran tandan kosong, ampas, dan bahan organik lainnya yang dihasilkan selama proses. Ini memastikan bahwa pabrik dapat beroperasi secara mandiri dan efisien dari segi energi.

#### 16. *Boiler*

Ketel uap adalah komponen penting dalam menghasilkan energi. Uap yang dihasilkan dari ketel uap digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pemanasan

dalam proses pabrik dan penggerak mesin. Efisiensi ketel uap sangat penting karena berdampak langsung pada biaya produksi dan dampak lingkungan.

#### 17. Sisa Limbah diproses lalu dibuang

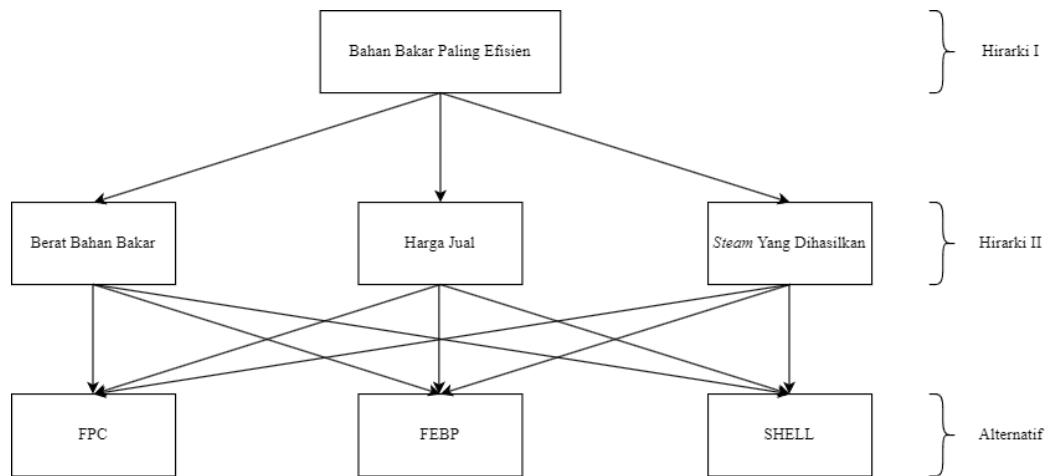
Terakhir, air limbah yang dihasilkan dari berbagai tahap produksi, terutama dari stasiun pemurnian air, harus diproses secara efektif sebelum dibuang atau dilepaskan. Stasiun air limbah bertanggung jawab atas pemurnian dan pemrosesan air limbah agar memenuhi regulasi lingkungan yang berlaku.

### 4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) dan menggunakan *tools* matlab berfungsi untuk membantu peneliti dalam pemilihan bahan bakar *boiler* terbaik untuk digunakan dan memberikan profit kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) merupakan evolusi dari metode AHP yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. AHP sering menghadapi tantangan dalam menangani kriteria yang memiliki subjektivitas yang tidak konsisten, sehingga diperlukan pendekatan *fuzzy* untuk memberikan pandangan yang lebih akurat terhadap masalah kriteria. Logika *fuzzy* digunakan untuk menangani situasi yang tidak pasti atau ambigu dalam masalah yang memiliki banyak solusi yang mungkin. Pendekatan logika *Fuzzy* memungkinkan penilaian yang lebih baik terhadap kinerja sistem. AHP, di sisi lain, adalah metode yang digunakan untuk mengurutkan alternatif keputusan dan memilih alternatif terbaik berdasarkan beberapa kriteria atau tujuan yang telah ditetapkan. Metode ini melibatkan penilaian input dan output sistem untuk memungkinkan pengambilan keputusan yang terinformasi.

#### 4.2.1 AHP

Dalam penelitian ini metode AHP digunakan sebagai sarana untuk pemilihan bahan bakar *boiler* yang paling efisien berdasarkan pemenuhan kebutuhan *steam* pabrik. AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang akan menguraikan masalah kompleks menjadi suatu hirarki. Berikut merupakan struktur hirarki pada penelitian ini:



Gambar 4. 3 Struktur Hirarki

Keterangan:

1. Hirarki I adalah tujuan/*goal* yang akan dicapai untuk penyelesaian persoalan/masalah yang akan dikaji. Tujuan/*goal* pada penelitian ini adalah pemilihan bahan bakar *boiler* paling efisien.
2. Hirarki II adalah kriteria, kriteria apa saja yang harus dipenuhi oleh semua alternatif. Kriteria pada penelitian adalah berat bahan bakar *boiler*, harga jual yang dimiliki dari setiap bahan bakar *boiler* di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *palm oil mill*, dan *steam* yang dihasilkan dari setiap bahan bakar *boiler*.
3. Alternatif (penyelesaian) agar layak untuk menjadi pilihan yang paling efisien. Penyelesaian pada penelitian ini adalah dengan memilih bahan bakar berjenis FPC (*fiber press cake*), FEBP (*fiber empty bunch press*), atau *shell*/cangkang kelapa sawit.

#### 4.2.2 Hubungan Logika Fuzzy dan AHP

*Fuzzy* dapat digunakan pada masalah yang masih belum jelas untuk dideskripsikan, sehingga nilai tinggi, rendah, baik, dan menengah menjadi satu nilai tolak ukur yang dapat digunakan. FAHP sesuai dengan singkatannya merupakan penggabungan dari metode *fuzzy* logika matematika dan metode AHP sendiri. Perbedaan dengan AHP adalah implementasi pemberian bobot perbandingan berpasangan didalam matriks perbandingan yang diwakili oleh tiga variabel ( $a, b, c$ ) atau ( $l, m, u$ ) yang disebut *triangular fuzzy number* (TFN). Cara pendekatan yang biasanya dilakukan adalah cukup sederhana

dengan cara mengfuzzifikasikan skala AHP menjadi skala FAHP. Berikut merupakan perbandingan fuzzifikasi (Dewi et al., 2022):

Tabel 4. 2 Fuzzifikasi Perbandingan Kepentingan antara dua Variabel

| No | Variabel linguistic  | Skala ahp  | Skala fuzzy (tfn)   | Kebalikan skala fuzzy     |
|----|----------------------|------------|---------------------|---------------------------|
| 1  | Sama Penting         | 1          | (1, 1, 3)           | (1/3, 1/1, 1/1)           |
| 2  | Sedikit Penting      | 3          | (1, 3, 5)           | (1/5, 1/3, 1/1)           |
| 3  | Lebih Penting        | 5          | (3, 5, 7)           | (1/7, 1/5, 1/3)           |
| 4  | Sangat Lebih Penting | 7          | (5, 7, 9)           | (1/9, 1/7, 1/5)           |
| 5  | Mutlak Lebih Penting | 9          | (7, 9, 9)           | (1/9, 1/9, 1/7)           |
| 6  | Pertengahan          | 2, 4, 6, 8 | $((x-2), x, (x+2))$ | $(1/(x+2), x^2, 1/(x-2))$ |

#### 4.2.3 Penerapan Metode Fuzzy dan AHP Pada Matlab

PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM ingin mengetahui bahan bakar *boiler* yang efisien untuk digunakan dan membuat PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM menghasilkan profit. Penilaian ini berdasarkan pada faktor-faktor yang di nilai yaitu berat bahan bakar *boileri*, harga jual bahan bakar *boiler*, dan jumlah *Steam* yang dihasilkan.

Tabel 4. 3 Data Kriteria Bahan Bakar *Boiler*

| Nama bahan bakar <i>boiler</i> | Berat bahan bakar (kg) | Harga jual (rp/kg) | Jumlah <i>steam</i> yang dihasilkan (kg <i>steam</i> /jam) |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|--|
| <i>Fiber press cake</i>        | 3.750                  | 110                | 10.937   |
| <i>Fiber empty bunch press</i> | 4.500                  | 89                 | 9.658  |
| <i>Shell</i>                   | 1.530                  | 700                | 8.646  |

Keterangan:

Berat Bahan Bakar : Berat dari setiap jenis bahan bakar *boiler* yaitu *fiber press cake*, *fiber empty bunch press*, dan *shell*.

- Harga Jual : Harga yang dihasilkan dari setiap jenis bahan bakar *boiler* jika dijual keluar perusahaan.
- Jumlah *Steam* : Jumlah *steam* yang dihasilkan dari setiap jenis bahan bakar *boiler*.

Pada tahap pertama yaitu menginput data-data yang akan digunakan dalam pengolahan data menggunakan toolbox matlab.

Nama Bahan Bakar *Boiler* = {'*Fiber press cake*' '*Fiber empty bunch press*' '*Shell*'};

```
Data = [ 3750   10937   110
          4500   9658    89
          1530   8646   700 ]
```

Langkah-langkah dalam Penggunaan Algoritma ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan batas maksimal untuk ketiga kriteria di atas.

Berat bahan bakar maksimal adalah 5000 kg

Jumlah *Steam* maksimal adalah 11000 kg *steam*/jam

Harga Jual maksimal adalah Rp.1000

Sehingga, dapat diasumsikan nilai maksimal dalam setiap nilai komposisi bahan bakar *boiler* adalah sebagai berikut:

```
maksBeratBahanBakar = 5000;
```

```
maksJumlahSteam = 11000;
```

```
maksHarga Jual = 1000;
```

2. Melakukan normalisasi data. Proses normalisasi data pada setiap kriteria dilakukan dengan membagi nilai masing-masing data dengan nilai maksimal pada setiap kriteria. Normalisasi ini penting dilakukan untuk mencegah dominasi satu kriteria terhadap kriteria lainnya akibat nilai yang terlalu tinggi.

```
data(:,1) = data(:,1) / maksBeratBahanBakar;
```

```
data(:,2) = data(:,2) / maksJumlahSteam;
```

$\text{data}(:,3) = \text{data}(:,3) / \text{maksHargaJual};$

3. Menentukan hubungan antara kriteria yang diterapkan, dengan melibatkan tiga kriteria dalam konteks ini, yaitu: Berat Bahan Bakar, Jumlah *Steam*, dan Harga Jual. Berat bahan bakar 0.5 kali lebih penting daripada jumlah *Steam*, berat bahan bakar 0.5 kali lebih penting daripada Harga Jual, dan jumlah *Steam* 0.25 kali lebih penting daripada Harga Jual.

(Sumber: sudah dikonfirmasi oleh *Senior assistant process supervisor* yang bekerja pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *palm oil mill*)

Tabel 4. 4 Relasi antar Kriteria

| Kriteria            | Berat Bahan Bakar | Jumlah <i>Steam</i> | Harga Jual |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|
| Berat bahan bakar   | 1                 | 2                   | 2          |
| Jumlah <i>steam</i> | 0,5               | 1                   | 4          |
| Harga jual          | 0,5               | 0,25                | 1          |

Dalam penerapan dalam Matlab, nilai matriks bagian segitiga bawah diisi dengan nilai seperti di atas.

$\text{relasiAntarKriteria} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 0,5 & 1 & 4 \\ 0,5 & 0,25 & 1 \end{bmatrix};$

4. Proses menentukan TFN (Triangular Fuzzy Number) melibatkan serangkaian tiga angka yang membentuk kurva fuzzy, dimulai dari nilai 0, naik ke 1, dan kemudian turun kembali ke 0. TFN terdiri dari dua set data, di mana set pertama adalah nilai sebenarnya dari TFN, dan set kedua adalah invers dari TFN, di mana setiap angka dibalik dan diubah menjadi  $1/x$ .

$\text{TFN} = \begin{bmatrix} [-100/3 & 0 & 100/3] & [3/100 & 0 & -3/100] \\ [0 & 100/3 & 200/3] & [3/200 & 3/100 & 0] \\ [100/3 & 200/3 & 300/3] & [3/300 & 3/200 & 3/100] \end{bmatrix}$

[200/3    300/3    400/3]    [3/400    3/300    3/200]

5. Melakukan perhitungan rasio konsisten untuk memastikan bahwa matriks relasi antara kriteria sudah bernilai benar.

$$\text{RasioKonsistensi} = \text{HitungKonsistensiAHP}(\text{relasiAntarKriteria})$$

Pada poin 5 ini, membuat fungsi HitungKonsistensiAHP, Adapun fungsi yang dibuat adalah sebagai berikut:

```
function [RasioKonsistensi] =
HitungKonsistensiAHP(relasiAntarKriteria)
%5a. Menentukan Indeks Konsistensi Acak yang digunakan
%Nilai yang nantinya dipakai adalah nilai pada indeks sebanyak
jumlah kriteria yang ada
indeksAcak = [0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49];
%5b. Menghitung jumlah kriteria yang sesuai dengan ukuran matriks
relasi antar kriteria
[op, jumlahKriteria] = size(relasiAntarKriteria);
%5c. Menghitung nilai lambda, yaitu nilai eigenvalue dengan
menggunakan fungsi eigenvector
[opp, lambda] = eig(relasiAntarKriteria);
%5d. Menentukan maksimal nilai lambda yang telah dihitung
sebelumnya
maksLambda = max(max(lambda));

%5e. Menentukan nilai indeks konsistensi dengan rumus (maksLambda-
n)/(n-1)
IndeksKonsistensi = (maksLambda - jumlahKriteria)/(jumlahKriteria-
1);

%5f. Menghitung rasio konsistensi untuk mendapatkan jawaban akhir
RasioKonsistensi = IndeksKonsistensi/indeksAcak(1,jumlahKriteria);

%5g. Jika nilai rasio konsistensi lebih dari 0.1, maka tampilkan
pesan kesalahan
```

Gambar 4. 4 Pseudocode

```

if RasioKonsistensi > 0.10
    str = 'Rasio Konsistensi adalah %% %1.2f. Matriks yang dievaluasi tidak konsisten!';
    str = sprintf(str,RasioKonsistensi);
    disp(str);
end
end

```

Gambar 4. 5 *Pseudocode*

6. Jika rasio konsistensi yang dihasilkan memiliki nilai kurang dari 0.10, maka akan dilakukan perhitungan berikutnya berikutnya yaitu:

```

if RasioKonsistensi < 0.10
    % Metode Fuzzy AHP
    [bobotAntarKriteria, relasiAntarKriteria] =
    FuzzyAHP(relasiAntarKriteria, TFN);

    % Hitung nilai skor akhir
    ahp = data * bobotAntarKriteria';

    disp('Hasil Perhitungan dengan metode Fuzzy AHP')
    disp('Nama Objek, Skor Akhir, Kategori')

```

Gambar 4. 6 *Pseudocode*

- a. Melakukan perhitungan bobot menggunakan metode *Fuzzy AHP*. Pada poin 6 ini perlu dibuat fungsi baru untuk menghitung bobot dengan metode AHP sebagai berikut: (berserta penjelasan tentang fungsi pada bagian komentar poin 6a - 6i)
- b. Menghitung nilai skor akhir dengan mengalihkan data dengan masing-masing bobot antar kriteria

```
function [bobotAntarKriteria, relasiAntarKriteria] =  
FuzzyAHP (relasiAntarKriteria, TFN)  
fuzzyRelasi= {};  
[jumlahData, jumlahKriteria] = size(relasiAntarKriteria);  
  
%* Lakukan konversi masing-masing relasi antar kriteria  
menjadi TFN (Triangular Fuzzy Number)  
  
%6a. Lakukan perhitungan pada matriks relasi antar kriteria  
%Masukkan nilai pada bagian segitiga bawah sesuai dengan  
nilai sesuai pada poin 3.
```

Gambar 4. 7 *Pseudocode*

```

for i=1:jumlahData
    for j=i+1:jumlahData
        relasiAntarKriteria(j,i) = 1 /
relasiAntarKriteria(i,j);
    end
end

%6b. Lakukan perhitungan pada matriks relasi antar kriteria
%Jika nilai matriks relasi antar kriteria lebih dari 1,
%maka nilai TFN yang digunakan adalah nilai kriteria pada
kelompok pertama
%Jika nilai matriks relasi antar kriteria kurang dari 1,
%maka nilai TFN yang digunakan adalah nilai kriteria pada
kelompok kedua
for i=1:jumlahData
    for j=1:jumlahKriteria
        kriteria = relasiAntarKriteria(i,j);
        if kriteria >= 1
            fuzzyRelasi{i,j} = TFN{kriteria ,1 };
        else
            fuzzyRelasi{i,j} = TFN{round(kriteria^-1) ,2 };
        end
    end
end

%6c. Hitung jumlah dari masing-masing TFN yang dipakai dalam
matriks relasi antar kriteria
%Kemudian dari nilai tersebut, jumlahkan nilai pada masing-
masing kolom kriteria

```

Gambar 4. 8 *Pseudocode*

```

for i=1: jumlahData
    barisRelasi = [fuzzyRelasi {i,:}];
    jumlahRelasiPerBaris {1,i} =
sum(reshape(barisRelasi,3,[]));
end
RelasiPerData = [jumlahRelasiPerBaris {1,:}];
jumlahRelasiPerKolom = sum (reshape (RelasiPerData,3,[]));

```

Gambar 4. 9 Pseudocode

```

%6d. Lakukan perhitungan pada masing-masing nilai relasi pada
masing-masing kolom
%Lakukan pembagian dengan jumlah relasi pada masing-masing
kolom
%Kemudian catat jumlah dari pembagian tersebut untuk setiap
kolomnya
for i=1:jumlahData
    RelasiPerData = [jumlahRelasiPerBaris{1,i}];
    for j=1:3
        nilaiRelasiPerKolom = jumlahRelasiPerKolom(1,j);
        jumlahPerKolom(1,j) =
(RelasiPerData(1,j))*(1/nilaiRelasiPerKolom);
    end
    jumlahRelasiPerBaris{1,i} = jumlahPerKolom;
end

%*Lakukan perhitungan derajat kemungkinan (poin 6e - 6g)
%Rumus yang digunakan adalah:
%
%      /---
%      | jika m2>=m1          1
%      |
%      | jika l1>=l2          0
%
% V(M2>=M1) = <
%      |                      11-u2
%      | selain itu          -----
%      |                      (m1-u2)-(m1-11)
%      \---

```

Gambar 4. 10 Pseudocode

```

derajatKemungkinan = zeros(jumlahData*(jumlahData-1),3);
idxBaris = 1;

%6e. Lakukan perhitungan pada masing-masing data dengan
indeks baris dan kolom tidak sama
for i=1:jumlahData
    for j=1:jumlahData
        if i~=j
            %6f. Masukkan nilai awal derajat kemungkinan, M1, dan M2 sesuai rumus yang
telah dijelaskan sebelumnya
            derajatKemungkinan(idxBaris,[1 2]) = [i j];
            M1 = jumlahRelasiPerBaris{1,i};
            M2 = jumlahRelasiPerBaris{1,j};

            %6g. Hitung nilai derajat kemungkinan menggunakan rumus yang telah
dijelaskan sebelumnya
            if M1(1,2) >= M2(1,2)
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = 1;
            elseif M2(1,1) >= M1(1,3)
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = 0;
            else
                derajatKemungkinan(idxBaris,3) = (M2(1,1)-M1(1,3))/((M1(1,2)-M1(1,3))-
(M2(1,2)-M2(1,1)));
            end

            idxBaris = idxBaris + 1;

        end
    end
end

```

Gambar 4. 11 *Pseudocode*

```

%6h. Hitung nilai bobot menggunakan nilai derajat kemungkinan minimal pada masing-
masing kriteria
bobotAntarKriteria = zeros(1,jumlahData);
for i=1:jumlahData,
    bobotAntarKriteria(1,i) =
min(derajatKemungkinan([find(derajatKemungkinan(:,1) == i)],[3]));
end

%6i. Lakukan normalisasi terhadap nilai bobot yang telah dihitung
%yaitu dengan cara membagi masing-masing nilai bobot dengan total semua bobot
bobotAntarKriteria =
bobotAntarKriteria/sum(bobotAntarKriteria);

end

```

Gambar 4. 12 Pseudocode

7. Menentukan rentang kriteria untuk kesimpulan nilai yang digunakan dalam perhitungan.

Tabel 4. 5 Pengelompokkan Kriteria Berdasarkan Nilai

| Range      | Keterangan  |
|------------|-------------|
| < 0,6      | Kurang      |
| 0,6 – 0,69 | Cukup       |
| 0,7 – 0,79 | Baik        |
| >= 0,8     | Sangat Baik |

Sehingga untuk menampilkan hasil maka dapat ditampilkan dengan syntax pada matlab sebagai berikut:

```
for i = 1:size(ahp, 1)
    if ahp(i) < 0.4
        status = 'Kurang';
    elseif ahp(i) < 0.5
        status = 'Cukup';
    elseif ahp(i) < 0.6
        status = 'Baik';
    else
        status = 'Sangat Baik';
    end

    disp([char(namaKaryawan(i)), blanks (13 - cellfun('length',namaKaryawan(i))), ', ', ...
num2str(ahp(i)), blanks(10 - length(num2str(ahp(i))))), ', ', ...
char(status)])

end
```

Gambar 4. 13 *Pseudocode*

## BAB V

### HASIL dan PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dari analisa sistem sampai pengujian sistem serta sistem kerja aplikasi secara keseluruhan baik teori maupun matlab sudah diuji cobakan dan dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

#### 5.1 Analisis fuzzy *Analitycal Hierarchy Process* (F-AHP)

##### 5.1.1 Identifikasi Kriteria Penting

Pada identifikasi kriteria penting peneliti menentukan variable-variabel yang signifikan dalam penggunaan bahan bakar *boiler*, dalam hal ini peneliti mengambil jenis bahan baku yang digunakan sebagai kriteria penting. Ada 3 jenis bahan bakar yang digunakan pada *boiler*, yaitu *fiber press cake*, *fiber empty bunch press*, dan *shell*.

##### a. *Fiber press cake*



Gambar 5. 1 *Fiber Press Cake*

(Sumber: Pribadi)

*Fiber Press Cake* merupakan salah satu bahan bakar *boiler* yang tersedia pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa. *Steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar ini adalah

sebesar 10.937 Kg *steam*/jam dengan berat bahan bakar yang digunakan adalah 3.750 kg/jam.

b. *Fiber empty bunch press*



Gambar 5. 2 *Fiber Empty Bunch Press*

(Sumber: Pribadi)

*Fiber Empty Bunch Press* merupakan salah satu bahan bakar *boiler* yang tersedia pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa. *Steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar ini adalah sebesar 9.658 Kg *steam*/jam dengan berat bahan bakar yang digunakan adalah 4.500 kg/jam.

c. *Shell*



Gambar 5. 3 *Shell*

(Sumber: Pribadi)

*Shell* merupakan salah satu bahan bakar *boiler* yang tersedia pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa. *Steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar ini adalah sebesar 8.646 Kg steam/jam dengan berat bahan bakar yang digunakan adalah 1.530 kg/jam.

### 5.1.2 Penilaian Kriteria

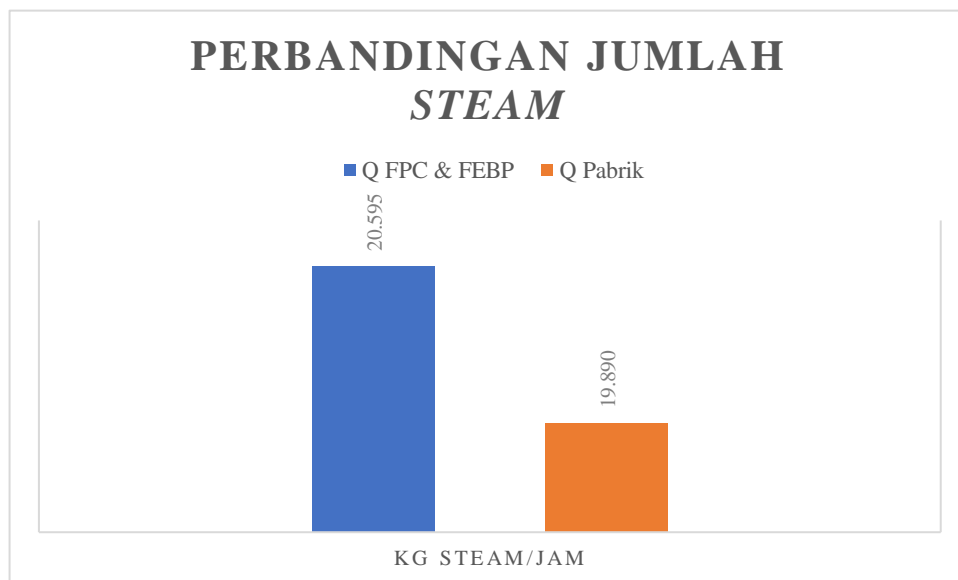
Pada bagian penilaian kriteria peneliti memberikan bobot pada setiap factor berdasarkan kepentingan dan dampaknya terhadap penggunaan bahan bakar dan *steam*. Pada penelitian ini berat bahan bakar 0.5 kali lebih penting daripada jumlah *steam*, berat bahan bakar 0.5 kali lebih penting daripada harga jual, dan jumlah *steam* 0.25 kali lebih penting daripada harga jual.

(Sumber: sudah dikonfirmasi oleh *Senior assistant process supervisor* yang bekerja pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *palm oil mill*)

### 5.1.3 Evaluasi Alternatif

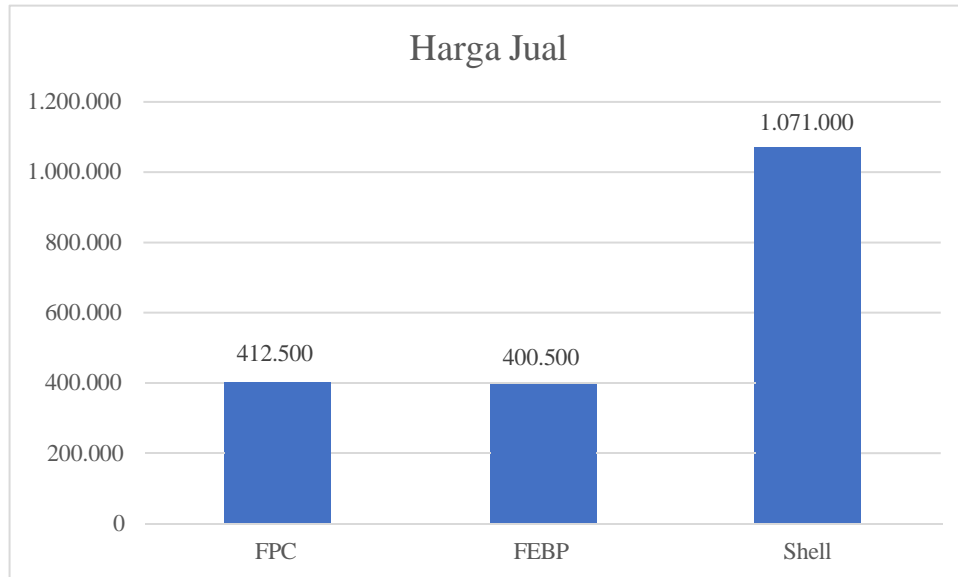
Pada bagian evaluasi alternatif membandingkan berbagai opsi atau strategi untuk mengelola bahan bakar dan *steam* dalam operasi *boiler* (Ginjar et al., 2019). Pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa, pada bahan bakar *boiler* yang digunakan adalah *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* dikarenakan untuk *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* menghasilkan *Steam* yang cukup untuk memenuhi kebutuhan PT. Bumi

Pratama Khatulistiwa. Untuk kebutuhan *Steam* pada pabrik membutuhkan kurang lebih 19.000 kg *steam*/jam. Untuk *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *fiber press cake* adalah 10.937 kg *steam*/jam, untuk *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *fiber empty bunch press* adalah 9.658 kg *steam*/jam, dan untuk *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *shell* adalah 8.646 kg *steam*/jam. Jika dilihat dari data diatas, penjumlahan *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* sebesar 20.595 kg *steam*/jam, angka tersebut sudah menutupi kebutuhan *steam* pabrik yaitu sebesar 19.890 kg *steam*/jam. Berikut merupakan grafik perbandingan antara jumlah *steam* yang dihasilkan oleh *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* dengan *steam* yang dibutuhkan oleh pabrik.



Gambar 5. 4 Perbandingan Jumlah *Steam*

Untuk bahan bakar *boiler* yang tersisa yaitu *shell* dapat dijual yang bisa menghasilkan profit bagi perusahaan dikarenakan harga jual dari bahan bakar *shell* tergolong tinggi daripada bahan bakar yang lainnya yaitu Rp.700, untuk per kg nya sedangkan untuk harga dari *fiber press cake* adalah Rp.110, per kg dan harga dari *fiber empty bunch press* adalah Rp. 89, per kg. Jika dihitung dengan jumlah berat bahan bakar yang digunakan dan harga untuk per kilonya. Bahan bakar *boiler* berjenis *fiber press cake* memiliki harga jual sebesar Rp. 412.500,-/jam. Bahan bakar *boiler* berjenis *fiber empty bunch press* memiliki harga jual sebesar Rp. 400.500,-/jam. Bahan bakar *boiler* berjenis *fiber press cake* memiliki harga jual sebesar Rp. 1.071.000,-/jam. Berikut merupakan grafik perbandingan harga jual dari ketiga bahan bakar *boiler*.



Gambar 5. 5 Perbandingan Harga Jual Antar Jenis Bahan Bakar *Boiler*

#### 5.1.4 Hasil Pengolahan Data Pada *Toolbox* Matlab

Pada hasil pengolahan data menggunakan *tool box* Matlab, terdapat hasil bahan bakar *boiler* yang terbaik berdasarkan 3 kriteria yaitu berat bahan bakar *boiler*, jumlah *steam* yang dihasilkan oleh bahan bakar *boiler*, dan harga jual dari masing masing bahan bakar *boiler*. Dalam hal penilaian bahan bakar *boiler*, terdapat rentang kriteria untuk mengetahui bahan bakar mana yang masuk kedalam kategori baik, cukup, ataupun kurang, jika nilai yang dihasilkan  $< 0.6$  maka masuk kedalam kategori kurang, jika nilai yang dihasilkan  $0.6 - 0.69$  maka masuk kedalam kategori cukup, jika nilai yang dihasilkan  $0.7 - 0.79$  maka masuk kedalam kategori baik, dan jika nilai yang dihasilkan  $\geq 0.8$  maka masuk kedalam kategori sangat baik. Hasil dari proses pengolahan data menggunakan *tool box* Matlab dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

```
RasioKonsistensi =

-1.7241

Hasil Perhitungan dengan metode Fuzzy AHP
Nama Bahan Bakar Boiler, Skor Akhir, Kategori
FiberPressCake, 0.87999 , Sangat Baik
FiberEmptyBunchPreess, 0.88829 , Sangat Baik
Shell , 0.56143 , Kurang
```

Gambar 5. 6 *Pseudocode* Hasil Akhir

Dapat dilihat pada hasil perhitungan di atas, untuk nilai yang dihasilkan pada bahan bakar *fiber press cake* mendapat skor 0,87999 termasuk kedalam kategori sangat baik, untuk bahan bakar *fiber empty bunch press* mendapat skor 0,88829 termasuk kedalam kategori sangat baik, dan untuk bahan bakar *shell* mendapat skor 0,56143 termasuk kedalam kategori kurang.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terhadap bahan bakar *boiler* menggunakan *tool box* Matlab, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian ini, penggunaan metode FAHP serta penggunaan *tool box* Matlab sudah berhasil dan dapat digunakan sebagai acuan bagi PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM dalam penentuan bahan bakar *boiler* yang lebih efisien untuk digunakan. Faktor-faktor yang dijadikan bahan pertimbangan oleh perusahaan dalam penilaian kebutuhan bahan bakar *boiler* untuk membangkitkan daya pabrik pada stasiun pengolahan adalah berat dari bahan bakar *boiler*, *steam* yang dihasilkan, dan harga jual dari bahan bakar *boiler*.
2. Hasil yang didapatkan dari perhitungan Matlab adalah untuk nilai yang dihasilkan pada bahan bakar *fiber press cake* mendapat skor 0,87999 termasuk kedalam kategori sangat baik, untuk bahan bakar *fiber empty bunch press* mendapat skor 0,88829 termasuk kedalam kategori sangat baik, dan untuk bahan bakar *shell* mendapat skor 0,56143 termasuk kedalam kategori kurang. Dari hasil yang sudah tertera dapat disimpulkan bahwa, skor yang dihasilkan *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM. *Steam* yang dihasilkan dari *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* adalah 10.937 kg *steam*/jam dan 9.658 kg *steam*/jam, jika dijumlahkan sebesar 20.595 kg *steam*/jam yang dimana akan mencukupi. Dari data tersebut tertera bahwa bahan bakar *shell* tidak perlu digunakan oleh pabrik, maka dari itu bahan bakar *shell* yang tersedia bisa dijual ke perusahaan lain.
3. Rekomendasi yang dapat diberikan kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, yaitu untuk menggunakan bahan bakar *boiler* yang terbuat dari *fiber press cake* ditambah dengan menggunakan bahan bakar *boiler* yang dibuat dari *fiber empty*

*bunch press* dikarenakan dari jumlah *steam* yang dihasilkan dari penjumlahan kedua bahan bakar tersebut sudah mencukupi kebutuhan *steam* perusahaan, dan untuk bahan bakar *boiler* yang terbuat dari *shell* bisa untuk dijual kepada perusahaan lain. Harga dari bahan bakar *shell* itu sendiri memiliki harga yang lebih tinggi daripada bahan bakar *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press*, maka dari itu hal tersebut dapat dilakukan agar perusahaan mendapatkan profit serta kebutuhan *steam* perusahaan terpenuhi.

## 6.2 Saran

Pada bagian ini peneliti dapat memberikan saran kepada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM, yaitu untuk tidak menggunakan bahan bakar *boiler* berjenis *shell* lagi yang dikarenakan *steam* yang dihasilkan oleh *shell* tidak memenuhi kebutuhan *steam* pabrik yang membuat penggunaan bahan bakar *boiler* berjenis *shell* tidak efisien. Peneliti memberikan saran kepada pihak perusahaan agar penggunaan bahan bakar *boiler* menggunakan bahan bakar berjenis *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press* karena dari *steam* yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan *steam* pabrik. Peneliti juga mengarahkan perusahaan untuk bahan bakar *boiler* berjenis *shell* agar dijual kepada perusahaan lain, selain harga jual yang dimiliki bahan bakar *boiler* itu lebih tinggi dibandingkan oleh *fiber press cake* dan *fiber empty bunch press*, perusahaan juga mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit.

Untuk peneliti selanjutnya yang akan meneliti di PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*, agar bisa melanjutkan penelitian terdahulu karena masih banyak potensi-potensi dari limbah yang dihasilkan agar bisa bermanfaat untuk kebutuhan lain agar menciptakan *zero waste* di lingkungan PT. Bumi Pratama Khatulistiwa *Palm Oil Mill*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriliansyah, T., Nababan, E. B., & Situmorang, Z. (2018). AKURATION ANALYSIS OF MAKING DECISION WITH FUZZY FOR RANK THE BEST EMPLOYEE. In *Juni* (Vol. 7, Issue 1).
- Ahmad Roni, K., Elfidiah, Widaputra, Y., & Kharisma Dewi, D. (2021). *ANALISIS PENGARUH RASIO SERABUT DAN CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA BOILER* (Vol. 6, Issue 1).
- Alfikri, G., & Hariastuti, N. L. P. (2019). Peningkatan Kualitas Minyak Kelapa Sawit dengan Pendekatan Lean Six Sigma-(Studi Kasus di PT. Sawit Mas Parenggean). *Jurnal IPTEK*, 23, 47–54. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2019.v23i1>
- Dewi, A. Y., Effendi, A., & Alfian, E. (2022). Analisa Sistem Manajemen Pengoperasian Bahan Bakar Boiler. *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.2(No.2), 2622–7002. [https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.\\_\\_\\_\\_](https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.____)
- Dwi, W., Hardiansyah, M., Ivanto, M., Program, ), Mesin, S. T., & Mesin, J. T. (2019). *Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler Kapasitas 55 Ton/Jam di PT PT.PJB (Pembangkit Jawa Bali) PLTU Ketapang 2X10 MW*.
- Fajri, M., Regasari, R., Putri, M., & Muflikhah, L. (2018). *Implementasi Metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) Dalam Penentuan Peminatan di MAN 2 Kota Serang* (Vol. 2, Issue 5). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Ginangjar, T., Suryani Lubis, G., Simanjuntak, Y. M., & Teknik Mesin, J. (2019). *ANALISA KEBUTUHAN BAHAN BAKAR BOILER DENGAN MELAKUKAN UJI KALORI PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. SENTOSA PRIMA AGRO*.
- Hanifah, S. A. (2021). *APLIKASI PERANKINGAN WILAYAH POTENSIAL PENGOLAHAN LIMBAH KELAPA SAWIT UNTUK PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN BERBASIS WEB MENGGUNAKAN METODE AHP-TOPSIS*.
- Haryanti, A., Norsamsi, Fanny Sholiha, P. S., & Putri, N. P. (2014). STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT. *Konversi*, 3(2), 57–66. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161>
- Irawan, A., Heranurweni, S., Nurhayati, T., & Studi Teknik ElektroUniversitas Semarang, P. (2019). *SIMULASI PH AIR UNTUK AIR BOILER DAN AIR CHILLER PADA MESIN PRODUKSI REFRIGERATOR DENGAN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY*.
- Mulyani, A., & Las, I. (2008). *POTENSI SUMBER DAYA LAHAN DAN OPTIMALISASI PENGEMBANGAN KOMODITAS PENGHASIL BIOENERGI DI INDONESIA*.
- Nurkholis, A., & Sitanggang, I. S. (2020). Optimization for prediction model of palm oil land suitability using spatial decision tree algorithm. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 8(3), 192–200. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13657>

- Parinduri<sup>1</sup>, L., Arfah<sup>1</sup>, M., & Sahputra<sup>1</sup>, J. (2019). ANALISA PERSEDIAAN LIMBAH KERING PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK PTPN IV KEBUN ADOLINA. *Jurnal Sistem Teknik Industri (JSTI)*, 21(2), 1–21.
- Pasha, D., & Suryani, E. (2017). Pengembangan Model Rantai Pasok Minyak Goreng Untuk Meningkatkan Produktivitas Menggunakan Sistem Dinamik pada PT XYZ. *Jatiji*, 3(No.2), 2407–4322.
- Qamaruddin, & Sikki, M. I. (2016). ANALISIS KEBUTUHAN BAHAN BAKAR TERHADAP PERUBAHAN TEKANAN UAP. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, Vol.4(No.2).
- Raditya, F., Wati, E. K., Darusalam, U., & Ariffin, E. (2013). Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur pada Boiler Menggunakan PID dan Fuzzy Logic Controller. *Jurnal Ilmiah GIGA*, Vol.16(2), 56–64.
- Sa'id, M., Hermawati, R., & Harahap, J. (2023). Peran Mandor dalam Rekrutmen Pekerja Kontrak di Perkebunan Kelapa Sawit. *Indonesian Journal of Anthropology*, 8(1), 2528–1569. <https://doi.org/10.24198/umbara.v8i1.44655>
- Saidah, K., Barus, D. S., & Razak, A. (2022). ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN ENERGI PADA BOILER DENGAN KAPASITAS 40 TON/JAM DI PKS AEK LOBA PT. SOCFIN INDONESIA. <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- Samsu, S. (2013). ANALISIS PENGAKUAN DAN PENGUKURAN PENDAPATAN BERDASARKAN PSAK NO. 23 PADA PT. MISA UTARA MANADO. *Jurnal EMBA*, Vol. 1(No. 3), 567–575.
- Saputra, F. P., Hidayat, N., & Furqon, M. T. (2018). Penerapan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) Untuk Menentukan Besar Pinjaman Pada Koperasi (Vol. 2, Issue 4). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Septiani, M. (2015). DESIGN OF STEAM TEMPERATURE CONTROLLER SYSTEM ON SUPERHEATER USING FUZZY SLIDING MODE CONTROL METHOD.
- Sinuhaji, N., Ginting, R. B., Benar, & Lestiana, C. (2022). SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK MENENTUKAN KUALITAS CRUDE PALM OIL SEBAGAI BAHAN BAKU MINYAK GORENG MENGGUNAKAN MATLAB DENGAN METODE FUZZY LOGIC TSUKAMOTO. <https://www.researchgate.net/publication/360836535>
- Stephanie, H., Tinaprilla, N., & Rifin, D. A. (2018). EFISIENSI PABRIK KELAPA SAWIT DI INDONESIA. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 6(1), 27–36. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jagbi>
- Suciadi, Y. (2013). PEMILIHAN DAN EVALUASI PEMASOK PADA P.T. NEW HOPE JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, Vol.2(No.1).

Yudianto, F., & Kamil, A. S. (2019). *PROTOTIPE PEMODELAN MONITORING PENGISIAN DAN PENCEGAHAN KEBAKARAN BATUBARA PADA SILO BERBASISKAN PLC-SCADA MENGGUNAKAN FUZZY.*

## LAMPIRAN

### A. Data *Steam* Bahan Bakar Boiler, *Steam* Kebutuhan Pabrik, dan Berat Bahan Bakar Boiler

| NO sample FPC |         |          |         |
|---------------|---------|----------|---------|
|               | tanggal | No FPC   | satuan  |
| 1             | 27      | 2246,406 | kcal/kg |
| 2             | 29      | 2079,098 | kcal/kg |
| 3             | 30      | 1958,198 | kcal/kg |
| 4             | 2       | 2082,968 | kcal/kg |
| 5             | 3       | 2147,473 | kcal/kg |
| 6             | 4       | 2100,987 | kcal/kg |
| 7             | 5       | 2028,991 | kcal/kg |
| 8             | 6       | 2081,015 | kcal/kg |
| 9             | 7       | 2038,297 | kcal/kg |
| 10            | 9       | 2019,922 | kcal/kg |
| average       |         | 2078,335 | kcal/kg |
|               |         |          |         |
| MTP           | 30000   | kg       |         |
| GBB FPC       | 3750    | kg       |         |
| % FPC         | 13%     | %        |         |
|               |         |          |         |
|               | Q FPC   | 10936,5  |         |

| <b>NO sample FEBP</b> |                |                 |               |
|-----------------------|----------------|-----------------|---------------|
|                       | <b>tanggal</b> | <b>No FEBP</b>  | <b>satuan</b> |
| 1                     | 27             | 1627,615        | kcal/kg       |
| 2                     | 29             | 1500,492        | kcal/kg       |
| 3                     | 30             | 1144,241        | kcal/kg       |
| 4                     | 2              | 1833,84         | kcal/kg       |
| 5                     | 3              | 1523,6          | kcal/kg       |
| 6                     | 4              | 1602,471        | kcal/kg       |
| 7                     | 5              | 1583,991        | kcal/kg       |
| 8                     | 6              | 1409,025        | kcal/kg       |
| 9                     | 7              | 1303,248        | kcal/kg       |
| 10                    | 9              | 1766,897        | kcal/kg       |
| <b>average</b>        |                | <b>1529,542</b> | kcal/kg       |
|                       |                |                 |               |
|                       |                |                 |               |
|                       |                |                 |               |
| MTP                   | 30000          | kg              |               |
| GBB FEBP              | 4500           | kg              |               |
| % FEBP                | 15%            | %               |               |
|                       |                |                 |               |
|                       |                |                 |               |
| Q FEBP                | 9658,402       |                 |               |

| NO sample Shell |          |          |         |
|-----------------|----------|----------|---------|
|                 | tanggal  | No Shell | satuan  |
| 1               | 27       | 3996,258 | kcal/kg |
| 2               | 29       | 4030,097 | kcal/kg |
| 3               | 30       | 4052,472 | kcal/kg |
| 4               | 2        | 4061,903 | kcal/kg |
| 5               | 3        | 4066,917 | kcal/kg |
| 6               | 4        | 4041,56  | kcal/kg |
| 7               | 5        | 4048,04  | kcal/kg |
| 8               | 6        | 4048,028 | kcal/kg |
| 9               | 7        | 4076,15  | kcal/kg |
| 10              | 9        | 3850,546 | kcal/kg |
| average         |          | 4027,197 | kcal/kg |
|                 |          |          |         |
|                 |          |          |         |
| MTP             | 30000    | kg       |         |
| GBB Shell       | 1530     | kg       |         |
| % Shell         | 5%       | %        |         |
|                 |          |          |         |
|                 |          |          |         |
| Q Shell         | 8646,207 |          |         |

|     | KW    | Steam Flow<br>(Ton/jam) | Steam Flow<br>(Kg/jam) | 1000   |  |
|-----|-------|-------------------------|------------------------|--------|--|
| 1   | 695   | 19,6                    | 19600                  | Kg/jam |  |
| 2   | 715   | 19,7                    | 19700                  | Kg/jam |  |
| 3   | 717   | 19,8                    | 19800                  | Kg/jam |  |
| 4   | 695   | 19,6                    | 19600                  | Kg/jam |  |
| 5   | 715   | 19,7                    | 19700                  | Kg/jam |  |
| 6   | 712   | 19,9                    | 19900                  | Kg/jam |  |
| 7   | 715   | 20,1                    | 20100                  | Kg/jam |  |
| 8   | 717   | 20,2                    | 20200                  | Kg/jam |  |
| 9   | 717   | 20,2                    | 20200                  | Kg/jam |  |
| 10  | 715   | 20,1                    | 20100                  | Kg/jam |  |
| AVG | 711,3 | 19,89                   | 19890                  |        |  |



**B. Lingkungan pada PT. Bumi Pratama Khatulistiwa POM**







### C. Pengambilan Sample



