

**ANALISIS PUTARAN MOTOR PENGGILINGAN TERHADAP NILAI
(pol) GULA PADA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN METODE LOGIKA
FUZZY DI PABRIK GULA PT. PRATAMA NUSANTARA SAKTI**

(Tesis)

Oleh:

**RICKY RACHMAN NURSA
NPM 2225031005**



**JURUSAN MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISIS PUTARAN MOTOR PENGGILINGAN TERHADAP NILAI
(pol) GULA PADA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN METODE LOGIKA
FUZZY DI PABRIK GULA PT. PRATAMA NUSANTARA SAKTI**

Oleh

RICKY RACHMAN NURSA

TESIS

**Sebagai salah satu syarat mencapai gelar
MAGISTER TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS PUTARAN MOTOR PENGGILINGAN TERHADAP NILAI (pol) GULA PADA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DI PABRIK GULA PT. PRATAMA NUSANTARA SAKTI

OLEH

RICKY RACHMAN NURSA

Industri gula Indonesia menghadapi tantangan serius berupa rendahnya efisiensi penggilingan tebu, yang ditunjukkan oleh tingginya nilai pol bagas. Kondisi ini mengakibatkan kehilangan gula dan menurunkan produktivitas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kecepatan motor giling terhadap nilai pol bagas serta mengoptimasi parameter tersebut menggunakan metode logika fuzzy. Sistem fuzzy dirancang untuk memproses variabel mesin (kecepatan dan beban motor) serta faktor pendukung (kadar air, suhu, masa pakai, dan masa terbang) melalui aturan inferensi berbasis membership function. Hasil pengujian menunjukkan mayoritas prediksi fuzzy konsisten dengan data aktual divisi pengendalian mutu, dengan tingkat akurasi tinggi ditunjukkan oleh RRMSE sebesar 7,84%, MAE 0,0603, dan MAPE 3,34%. Temuan ini membuktikan bahwa logika fuzzy mampu menangani ketidakpastian dan kompleksitas variabel dalam proses giling, sekaligus memberikan solusi praktis untuk menekan kehilangan gula, meningkatkan mutu, dan memperbaiki produktivitas industri gula nasional.

Kata Kunci: Industri gula; penggilingan tebu; pol bagas; kecepatan motor; logika fuzzy

ABSTRACT

ANALYSIS OF MILLING MOTOR ROTATION ON SUGAR POL VALUE IN SUGARCANE BAGASSE USING THE FUZZY LOGIC METHOD AT PT PRATAMA NUSANTARA SAKTI SUGAR FACTORY.

BY

RICKY RACHMAN NURSA

The Indonesian sugar industry faces a major challenge of low milling efficiency, as indicated by the high pol value in bagasse. This condition leads to significant sugar losses and reduced productivity. This study aims to analyze the effect of mill motor speed on bagasse pol value and optimize this parameter using a fuzzy logic approach. The fuzzy system was designed to process machine variables (motor speed and load) and supporting factors (moisture content, water temperature, machine lifetime, and harvesting period) through rule-based inference with membership functions. Experimental results showed that most fuzzy predictions were consistent with the actual data from the quality control division, with high accuracy indicated by RRMSE of 7.84%, MAE of 0.0603, and MAPE of 3.34%. These findings confirm that fuzzy logic can effectively handle uncertainty and complex variable interactions in the milling process, while providing a practical solution to reduce sugar loss, improve quality, and enhance the productivity of the national sugar industry.

Keywords: Sugar industry; sugarcane milling; bagasse pol; motor speed; fuzzy logic

Judul Tesis

: **ANALISIS PUTARAN MOTOR
PENGGIILINGAN TERHADAP
NILAI (POL) GULA PADA AMPAS
TEBU MENGGUNAKAN METODE
LOGIKA FUZZY DI PABRIK GULA
PT PRATAMA NUSANTARA SAKTI**

Nama Mahasiswa

: **Ricky Rachman Nursa**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2225031005

Program Studi

: Magister Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc

NIP 197509282001121002

Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

NIP 19651021 199512 2 001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

NIP 19651021 199512 2 001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji 1

Ketua Komisi Penguji

(Pembimbing I)

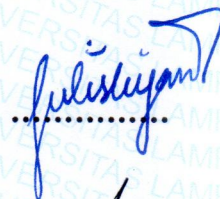
: **Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc**



Sekretaris Komisi Penguji

(Pembimbing II)

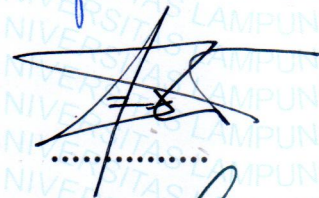
: **Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T**



Anggota Komisi Penguji

(Penguji I)

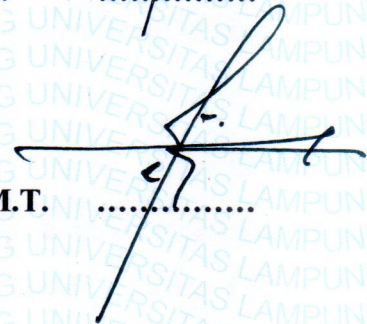
: **Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.**



Anggota Komisi Penguji

(Penguji II)

: **Dr. Ageng Sadnowo Repelianto, M.T.**



1. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.)

NIP 196910302000031001

2. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **11 Desember 2025**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dan Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Tesis dengan judul “Analisis Putaran Motor Penggilingan terhadap Nilai (Pol) Gula pada Ampas Tebu Menggunakan Metode Logika Fuzzy di Pabrik Gula PT Pratama Nusantara Sakti” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
2. Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 1 januari 2026



Ricky Rachman Nursa

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarlampung 08 Oktober 1997. Penulis merupakan anak ke-dua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sayuti dan Ibu Nurhayati. Mengenai riwayat pendidikan penulis, penulis lulus dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 02 Panjang Utara, Bandarlampung pada tahun 2009, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 30 Bandarlampung pada tahun 2012, lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 10 Bandarlampung pada tahun 2015 dan diterima di Universitas Lampung di Jurusan Teknik Elektro dan meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2020. Penulis Bekerja sebagai Supervisor Produksi di PT PRATAMA NUSANTARA SAKTI. Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro di Universitas Lampung, penulis melakukan penelitian pada bidang Otomasi Industri dengan judul tesis “ANALISIS PUTARAN MOTOR PENGGILINGAN TERHADAP NILAI (Pol) GULA PADA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DI PABRIK GULA PT. PRATAMA NUSANTARA SAKTI di bawah bimbingan Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc dan Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

Bandar Lampung, 1 Januari 2026
Penulis
Ricky rachman nursa



PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT, teriring sholawat kepada Nabi Muhammad SAW

Bapak dan Ibu Tercinta,

*Sebagai tanda bakti, hormat dan terima kasih yang tiada hingga kupersembahkan tesis ini untuk kedua orangtua tercinta saya **Almarhum Bapak Sayuti dan Ibu Nurhayati**, yang selalu senantiasa memberikan saya kasih sayang tiada tara, dukungan, dan ridho yang tidak bisa saya balas melalui selembar kertas ini. Semoga hal ini dapat menjadi langkah awal bagi saya untuk dapat membuat bapak dan mamah selalu bahagia, walaupun saya masih belum dapat membalas apa yang beliau-beliau berikan kepada saya. Terima kasih untuk selalu mendoakan dan menasehati saya untuk terus melangkah menjadi orang yang lebih baik dengan selalu memberikan keridhoan disetiap langkah. Terima kasih mama papa. Semoga selalu dalam lindungan Allah S.W.T.*

Saudara Terkasih

Sebagai tanda terima kasih aku persembahkan tesis ini untuk kakakku Rio Rachmadi Nursa Adikku Rekha Putri CikManuna Nursa. Terima kasih selalu senantiasa memberikan semangat dan selalu memberikan bantuan dalam penyelesaian tesis ini. Semoga doa dan segala hal yang terbaik yang engkau berikan dapat menjadikan ku orang yang baik dan berguna bagi sekitar. Terima kasih.

Dosen Teknik Elektro,

Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

Keluarga Besar MTE 2022,

Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang, dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan

Almamaterku,

Universitas Lampung



MOTTO

Mulai lakukan hal kecil sehingga kamu merasakan kemenangan kecil yang nantinya memberi dampak besar untuk hidupmu.

Kuliah belum tentu menjamin kesuksesan . Namun kuliah hanya sebatas untuk mempersiapkan diri. Semua hal di dunia ini hanya tentang bagaimana mempersiapkan diri. Jika suatu saat datang kesempatan maka saya sudah siap dengan itu, namun jika kesempatan tidak juga kunjung datang tak masalah, saya percaya allah sudah siapkan skenario terbaik dalam hidup.

(ricky rachman nursa)

SANWACANA

Assalamu'alaikum, Wr.Wb. Alhamdulillahirobbil'alamiin. Puji syukur Penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan baik. Tidak lupa, shalawat dan salam senantiasa penulis ucapkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang menjadi suri teladan mulia yang membawa kita kepada cahaya kehidupan dan iman.. Tesis dengan judul “Analisis Putaran Motor Penggilingan terhadap Nilai (Pol) Gula pada Ampas Tebu Menggunakan Metode Logika Fuzzy di Pabrik Gula PT Pratama Nusantara Sakti” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan dan penelitian, penulis telah mendapatkan banyak hal berharga, baik berupa dukungan, bimbingan, semangat, motivasi maupun kontribusi dari berbagai pihak. Sehingga Tesis ini dapat terselasaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Progam Pascasarjana, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyaniti, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Lampung, dan dosen Pembimbing Kedua yang senantiasa memberikan bimbingan, ilmu, saran, dan kritik dalam penyelesaian tesis ini.

6. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Utama tugas akhir penulis atas kesediannya dalam membimbing, memberikan nasihat, serta dorongan motivasi kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku dosen Penguji Utama yang telah memberikan masukan dan arahan untuk penyelesaian tesis ini.
8. Bapak Dr. Ageng Sadnowo Repelianto, M.T., selaku Penguji Pendamping atas kesediaannya dalam memberikan saran dan kritik kepada penulis.
9. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
10. Untuk kedua orangtua penulis Almarhub Bapak Sayuti dan Ibu Nurhayati yang telah membesarkan dan memberi kasih sayang. Terima kasih atas kerja keras dan selalu mendukung penulis berupa doa atau perilaku dalam memberi semangat. Sehingga penulis dapat mencapai titik yang tidak bias penulis bayangkan tanpa bantuan dan doa kedua orangtua penulis.
11. Rio rachmadi nursa, dan Rekha putri cikmanuna nursa selaku saudara penulis yang senantiasa memberikan support tanpa henti.
12. Teman-teman Magister Teknik Elektro 2022, yang saling memberikan support selama perkuliahan.
13. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Farisya Diansyafira sebagai *support system* yang selalu senantiasa kebersamai dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan yang mungkin terdapat dalam penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak serta turut berkontribusi dalam memperkaya khazanah ilmu pengetahuan. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 1 Januari 2026
Penulis,
Ricky Rachman Nursa

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Rumusan Masalah.....	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pengolahan Tebu	6
2.2. Budidaya Tebu.....	7
2.3. Perhitungan nilai proses pembuatan gula	8
2.4. Sistem kontrol terdistribusi (DCS)	9
2.5. Perawatan.....	11
2.6. Teknik Perawatan Mesin	12
2.7. Spesifikasi Motoran Mill	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2. Alat dan Bahan	16
3.3. Tahapan Penelitian.....	16
3.4. Deskripsi Umum Penggilingan	19
3.5. Pengaturan Logika Penggilingan	20
3.6. Pengambilan Kesimpulan <i>Fuzzy</i> dengan Metode Mamdani.....	21
3.7. Menentukan <i>input</i> dan <i>output</i> dalam Metode Mamdani.....	22
3.8. Perbedaan Tiga Metode <i>Fuzzy</i>	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Prosedur Pengujian	25
4.2. Membentuk Himpunan <i>Fuzzy</i>	26
4.3. Membentuk Aturan <i>Fuzzy</i>	27
4.4. Himpunan Anggota <i>Fuzzy</i>	28
4.5. Aturan Keanggotaan (<i>Fuzzy Rules</i>).....	30
4.5.1. Aturan Keanggotaan Faktor Mesin (Keprimaan)	31
4.5.2. Aturan Keanggotaan Faktor Penggilingan (Pendukung).....	34
4.5.3. Aturan Keanggotaan untuk Mutu Akhir POL Bagas	37
4.6. Pengambilan Data.....	41
4.7. Pengujian dan pembahasan data	42
4.8. Pengujian simulasi <i>fuzzy</i>	43
4.8.1. Fuzzy input.....	44
4.8.2. Faktor Giling/pendukung	44
4.8.3. Hasil Mutu.....	46
4.9. Data hasil simulasi	49
4.10. Data uji mutu hasil.....	51
4.11. Analisis Kinerja Model dengan RRMSE	54
4.11.1. Konsep RRMSE.....	54
4.11.2. Data dan Perhitungan	55
4.11.3. Visualisasi Data	55
4.11.4. Interpretasi Hasil	57
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	58

5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1. Aturan Fuzzy untuk Variabel Mutu Akhir POL bagas	27
4.2. Himpunan keanggotaan fuzzy	28
4.3. Pangambilan data pada penelitian	41
4.4. Hasil nilai fuzzy pada faktor giling dan faktor mesin.....	50
4. 5. Data akhir perbandingan simulasi fuzzy dan divisi pengendalian mutu	52
Lampiran 1. Tabel Perbandingan Hasil Prediksi Fuzzy dengan Data Aktual	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Sistem kontrol terdistribusi (DCS) mill PT PNS	11
2.2. Motoran penggilingan PT PNS.....	14
3.1. Diagram alir penelitian	17
3.2. Diagram alir sistem penelitian.....	18
3.3. Diagram proses penggilingan gula	20
3.4. Logika kecepatan giling yang di atur oleh operator mill DCS	21
4.1. Diagram alur himpunan fuzzy	26

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produksi gula merupakan sektor penting dalam perekonomian Indonesia. Industri ini berperan dalam produksi pangan dan bahan baku industri serta menyerap banyak tenaga kerja. Salah satu proses yang penting dalam pabrik gula adalah proses penggilingan.

Kualitas gula yang baik ditentukan oleh kualitas bahan baku yang baik pula. Batang tanaman tebu terdiri dari sebagian baru (sekitar 75%) yaitu air (nira) dan sisanya dalam bentuk bahan kering (ampas). Terdapat zat-zat organik maupun anorganik yang bersifat terlarut dan tak terlarut pada nira tebu. Gula tebu atau sukrosa dikelompokkan dalam zat organik terlarut pada nira tebu, sedangkan dalam ampas terkandung bahan-bahan organik dan anorganik tak terlarut. Menurut Notojoewono (1984), kandungan tebu antara lain gula sederhana, baik dari golongan disakarida yaitu sukrosa, maupun dari golongan monosakarida yaitu glukosa, fruktosa, dan gula invert (campuran gula fruktosa dan glukosa) [1].

Dalam proses ini, tebu dipecah menjadi sari buah dan kemudian diolah menjadi gula. Kecepatan motor merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses penggilingan. Jika kecepatannya terlalu rendah maka tebu tidak akan tergerus secara maksimal dan akan diperoleh sari buah dengan kadar gula yang rendah.

Sebaliknya, kecepatan yang terlalu tinggi akan menyebabkan penggilingan tebu berlebih sehingga menghasilkan nira dengan kandungan gula rendah, namun juga ampas tebu dengan kandungan gula tinggi.

Nilai pol tebu adalah jumlah pol merupakan kadar gula yang masih terkandung dalam ampas dan diperoleh dari pengukuran menggunakan polarimeter. Nilai pol memiliki satuan % dan batas spesifikasi yang diterapkan di Pabrik Gula Pratama Nusantara Sakti maksimal sebesar 2% [2].

Nilai pol tebu ini mempengaruhi kadar gula yang ada di dalam ampas tebu, semakin besar nilainya pol pada ampas tebu maka semakin besar potensi kehilangan gula pada ampas tebu tersebut.

Kehilangan kadar gula atau nira tebu merupakan kerugian bagi perusahaan semakin besar nilai pol tebu yang terdapat pada ampas tebu maka semakin besar kerugian pada perusahaan karna kehilangan gula.oleh sebab itu perlu pada proses penggilingan ini memperhatikan nilai pol tebu untuk mengoptimalkan produksi.

Ampas tebu (bagas) merupakan hasil sisa proses penggilingan tebu. Ampas tebu dengan kandungan pol tinggi dapat digunakan sebagai bahan baku berbagai produk seperti karbon aktif, panel komposit, dan furniture.

Pengendalian kecepatan adalah salah satu komponen penting dalam operasi motor Arus Searah (DC motor). Dalam mengendalikan kecepatan motor DC, beberapa perbaikan perlu dilakukan untuk pengaturan kecepatan selama kondisi beban transien. Kontrol ini mencakup sirkuit pengatur yang memiliki luaran untuk mengendalikan tegangan angker ke motor. Sinyal referensi kecepatan *input* yang sesuai dengan kecepatan yang diinginkan diberikan ke sirkuit pengatur. Sinyal umpan balik yang proporsional terhadap tegangan angker juga diberikan ke sirkuit pengatur untuk menghasilkan sinyal kesalahan yang digunakan untuk mengoperasikan kontrol dalam mengatur tegangan ke motor dan, dengan demikian, kecepatan motor.

Logika *fuzzy* didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, di mana keanggotaan suatu objek dalam sebuah himpunan bersifat bertahap, bukan sekadar anggota atau tidak. Logika *fuzzy* menggunakan seluruh interval bilangan nyata antara nol (Salah) dan satu (Benar) untuk mengembangkan logika sebagai dasar untuk aturan inferensi, memungkinkan komputer untuk membuat keputusan menggunakan penalaran *fuzzy* [3].

PT. Pratama Nusantara Sakti merupakan salah satu pabrik gula dataran rawa terbaru di Indonesia. Pabrik tersebut memiliki kapasitas penggilingan 6000 ton tebu per hari. Berdasarkan observasi di lapangan, nilai kandungan gula pada ampas tebu di PT Pratama Nusantara Sakti masih relatif rendah yaitu sekitar 15%. Hal ini disebabkan karena kecepatan motor gilingan yang kurang maksimal.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan motor gilingan terhadap nilai survei ampas tebu di PT. Pratama Nusantara Sakti.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh putaran motor penggilingan terhadap nilai pol ampas tebu (bagas) di PT Pratama Nusantara Sakti.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor lain yang memengaruhi nilai pol ampas tebu, baik yang berasal dari faktor mesin maupun faktor pendukung proses penggilingan.
3. Merancang dan mensimulasikan model prediksi nilai pol ampas tebu berbasis logika fuzzy dengan mempertimbangkan beberapa faktor input yang relevan.
4. Mengevaluasi kinerja model fuzzy yang dikembangkan melalui analisis nilai error guna mengetahui tingkat akurasi dan keandalannya.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menghasilkan nilai ideal putaran motor untuk parameter giling di PT. Pratama Nusantara Sakti.
2. Menciptakan nilai pol bagas mendekati angka 1,2 atau 25% dari hasil penggilingan.

3. Mengurangi kesalahan operator dalam menentukan parameter nilai giling saat melakukan operational.
4. Mengurangi kerugian perusahaan dari gula yang terbuang.
5. Meningkatkan hasil produksi gula.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan maka rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana melihat dampak putaran motor di penggilingan terhadap nilai pol bagas di PT. Pratama Nusantara Sakti.
2. Bagaimana menentukan putaran motor terbaik untuk menghasilkan ekstrasi dan pol bagas paling rendah.
3. Bagaimana melakukan optimasi nilai pol bagas dengan metode logika *fuzzy*.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini menitikberatkan pada pengaruh dari putaran motor terhadap nilai pol tebu mencegah terbuangnya atau *losses* pada proses lanjutan pengkristalan gula. Berikut merupakan batasan masalah dari penelitian ini:

1. Analisis dampak dan nilai ideal putaran motor sehingga mendapatkan nilai pol mendekati 1,2.
2. Analisis dampak kerugian perusahaan jika terbuangnya gula dalam bentuk bagas.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah pengaruh dari putaran motor penggilingan mempengaruhi nilai pol bagas dan menyebabkan kerugian perusahaan jika nilai pol tersebut tidak sesuai standar dan parameter.

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan penulisan ini terdiri dari:

I. PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, rumusan masalah pada penelitian ini, serta sistematika penulisan laporan hasil penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini berisi tentang teori- teori yang berhubungan dengan budidaya tanaman tebu serta perangkat keras (komponen) ataupun perangkat lunak (program) yang digunakan pada proses penggilingan tebu dan sistem pengatur kecepatan pada motoran mill.

III. METODE PENELITIAN

Pada Bab ini berisi tentang metode, waktu, tempat penelitian, serta alat dan bahan, yang digunakan dalam proses pembuatan alat ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini berisi tentang hasil pengujian sub sistem perangkat keras dan perangkat lunak, dan pengujian sistem keseluruhan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan serta saran dari penelitian yang telah selesai dilaksanakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengolahan Tebu

Pengolahan gula di pabrik-pabrik gula menggunakan proses defekasi-sulfitasi, yang secara umum terbagi menjadi enam unit stasiun. Proses pengolahan tebu diawali dari stasiun pertama yaitu stasiun gilingan. Di stasiun ini dilakukan proses pemotongan/pencacahan batang tebu hingga menjadi serabut, kemudian serabut diekstraksi menggunakan alat mesin gilingan hingga nira dalam serabut terperas.

Stasiun pemurnian dilakukan penambahan sulfat dan kapur pemurnian nira hasil perasan dari stasiun gilingan, serta pengendalian suhu dan pH untuk mendapatkan nira murni. Pada stasiun penguapan dilakukan penurunan kadar air dari nira murni untuk mengefisienkan proses kristalisasi.

Stasiun masakan terjadi pembentukan kristal gula dari nira sangat prima, dimana proses kristalisasi dilakukan dengan beberapa tahapan untuk membentuk kristal dengan ukuran yang diinginkan. Pada stasiun puteran terjadi pemisahan metode sentrifugasi antara kristal gula yang telah jadi dengan *stroop* (cairan nira yang belum bisa mengkristal). *Stroop* akan dimasukkan kembali ke stasiun masakan. Di tahap akhir adalah proses penghilangan kadar air dalam kristal gula sampai batas standar menggunakan alat *sugar dryer and cooler*.

Produk-produk yang dihasilkan di setiap stasiun adalah, seperti nira mentah yang dihasilkan dari stasiun gilingan, nira sulfitasi/sulfitir dari stasiun pemurnian; nira sangat prima dari stasiun penguapan, kristal gula dan *stroop* dari stasiun masakan. Produk-produk antara tersebut memiliki standar kualitas

masing-masing yang akan menentukan kualitas produk akhir. Untuk nira, beberapa standar kualitas adalah total padatan terlarut (%brix), polarisasi (%pol), gula reduksi, dan pH, sedangkan standar mutu kristal adalah baru jenis butir (BJB) dan warna larutan gula (ICUMSA).

Nilai-nilai tersebut sangat bergantung pada ketepatan proses produksi, sehingga apabila proses produksi tidak dipertahankan sesuai prosedur, maka nilai parameter kualitas akan mengalami kenaikan maupun penurunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa proses pengolahan gula yang dilakukan oleh pabrik selama 5 hari berturut-turut yang dilihat dari nilai %brix, %pol, nilai gula reduksi, dan pH pada nira serta rendemen, baru jenis butir (BJB), dan warna larutan gula yang diperoleh [4].

2.2. Budidaya Tebu

Tebu merupakan tanaman monokotil yang termasuk *famili Poaceae*. Tanaman ini dibudidayakan untuk menghasilkan gula, dan merupakan salah satu komoditas penting dalam industri agroindustri.

Syarat tumbuh tanaman tebu harus memiliki beberapa syarat yaitu iklim tebu tumbuh optimal di daerah tropis dengan curah hujan tahunan antara 1.200–2.500 mm/tahun. Suhu udara yang ideal untuk pertumbuhan tebu adalah antara 20°C–30°C [6].

Jenis lahan atau tanah tebu dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, namun idealnya adalah tanah yang gembur, subur, dan memiliki drainase yang baik. Ketinggian Tempat Tebu dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian 0–1.200 meter di atas permukaan laut.

a. Langkah-langkah Budidaya Tanaman Tebu

Persiapkan lahan yang akan dibersihkan dari gulma dan sisa tanaman sebelumnya. Tanah dibajak atau dicangkul untuk menggemburkan tanah. Dibatok bedengan dengan lebar 1–1,5 meter dan tinggi 20–30 cm.

Penyemaian bibit tebu diperoleh dari stek batang tebu yang memiliki 2 – 3 mata tunas. Stek batang tebu direndam dalam air selama 12–24 jam sebelum

ditanam. Stek batang tebu ditanam pada bedengan dengan jarak tanam 100–150 cm.

- b. Pemeliharaan tanaman penyiraman dilakukan secara rutin, terutama pada saat musim kemarau. Pemupukan dilakukan secara berkala untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman. Penyiangan dilakukan untuk membersihkan gulma yang tumbuh di sekitar tanaman. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan cara yang tepat.
- c. Tebu siap panen setelah berumur 9–12 bulan, tergantung pada varietas dan kondisi lingkungan. Panen tebu dilakukan dengan cara memotong batang tebu di bagian pangkal batang.
- d. Pengolahan batang tebu diangkut ke pabrik gula untuk diolah menjadi gula. Proses pengolahan tebu meliputi :
 - Pemotongan batang tebu
 - Pemasakan batang tebu untuk mendapatkan nira
 - Pengolahan nira untuk mendapatkan gula kristal
 - Pengemasan gula

Hama dan penyakit tanaman tebu hama penggerek batang tebu, kutu putih, wereng batang coklat. Penyakit busuk batang tebu, penyakit kuning daun tebu, mosaik tebu. Manfaat tanaman tebu bahan baku gula tebu merupakan bahan baku utama untuk pembuatan gula. Bahan baku *bioetanol* tetes tebu dapat diolah menjadi *bioetanol*, yaitu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Bahan baku industri lainnya ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan baku kertas, papan partikel, dan pupuk organik.

2.3. Perhitungan nilai proses pembuatan gula

A. Pol bagas

Pol bagas adalah singkatan dari polarisasi brix nira tebu. Pol bagas merupakan satuan yang digunakan untuk mengukur kadar gula terpolarisasi dalam nira tebu, yang merupakan indikator kadar gula murni (sukrosa) dalam nira.

B. Cara menghitung pol bagas:

Ukur kadar brix nira tebu. Kadar brix dapat diukur dengan menggunakan refractometer. Ukur kadar polarisasi nira tebu. Kadar polarisasi dapat diukur dengan menggunakan polarimeter.

Perhitungan rumus berikut:

$$Pol\ Bagas = (Brix - Polarisasi) \times 0,95 \quad (2.1)$$

Keterangan:

- Brix : Kadar total padatan terlarut dalam nira tebu.
- Polarisasi : Kadar gula murni (sukrosa) dalam nira tebu.
- 0,95 : Faktor konversi untuk mengubah kadar gula murni menjadi kadar gula terpolarisasi.

2.4. Sistem kontrol terdistribusi (DCS)

Sistem kontrol terdistribusi (DCS) adalah sistem kontrol terkomputerisasi untuk suatu proses atau pabrik, biasanya dengan banyak *loop control*, di mana pengontrol otonom didistribusikan ke seluruh sistem, tetapi tidak ada kontrol pengawasan operator pusat [8].

DCS pertama kali dikembangkan pada 1970-an sebagai tanggapan atas meningkatnya kompleksitas proses industri. Mereka menawarkan sejumlah keuntungan dibandingkan sistem kontrol tradisional, termasuk:

- Peningkatan keandalan jika satu pengontrol gagal, pengontrol lain dapat mengambil alih.
- Peningkatan skalabilitas DCS dapat dengan mudah diperluas untuk mengakomodasi proses yang lebih baru atau lebih kompleks.
- Peningkatan kinerja DCS dapat memberikan kontrol yang lebih tepat atas proses, yang dapat mengarah pada peningkatan efisiensi dan produktivitas.
- Peningkatan biaya-efektivitas: DCS dapat membantu mengurangi biaya operasi dan pemeliharaan.

DCS digunakan dalam berbagai industri, termasuk:

- Minyak dan gas
- Kimia
- Pulp dan kertas
- Pembangkit listrik
- Pengolahan air dan limbah
- Farmasi
- Makanan dan minuman

Komponen utama DCS adalah:

- Pengontrol adalah perangkat cerdas yang bertanggungjawab untuk mengontrol bagian tertentu dari proses. Pengontrol biasanya terhubung ke jaringan komunikasi yang memungkinkan mereka untuk berkomunikasi satu sama lain dan dengan stasiun operator.
- Stasiun operator adalah antarmuka pengguna untuk DCS. Ini memungkinkan operator untuk memantau proses, membuat perubahan pada pengaturan kontrol, dan memecahkan masalah.
- Jaringan komunikasi menyediakan cara bagi pengontrol dan stasiun operator untuk berkomunikasi satu sama lain. Jaringan biasanya terdiri dari kabel, sakelar, dan router.
- Perangkat lunak DCS menyediakan fungsionalitas inti dari sistem. Ini termasuk perangkat lunak untuk konfigurasi sistem, pemantauan proses, kontrol, dan pemecahan masalah.



Gambar 2.1. Sistem kontrol terdistribusi (DCS) mill PT PNS

Pada Gambar 2.1 merupakan DCS penggilingan tebu PT PNS adalah sistem kontrol yang kompleks dan canggih yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja, keandalan, dan skalabilitas proses industri.

DCS tersusun dari beberapa bagian atau peranti. Beberapa diantaranya seperti komputer pusat, komputer umum, komputer atau kontroler lokal, *display*, *database* dan jalur data. Komputer pusat merupakan komputer utama yang terhubung dengan semua yang terkait dengan sistem operasi. Komputer umum merupakan unit kendali yang digunakan untuk melakukan optimasi, pengaturan lanjutan dan sebagainya. Komputer lokal digunakan untuk mengendalikan secara langsung suatu proses, yang biasanya, berbasis PID. *Display* berfungsi untuk menampilkan suatu grafik atau analisis dari suatu proses. *Database* berfungsi untuk menyimpan dan mengumpulkan data-data. Dan yang terakhir, jalur data merupakan saluran transmisi data digital yang menghubungkan semua peranti-peranti dalam system.

2.5. Perawatan

Perawatan mesin suatu kegiatan industri tidak terlepas dari penggunaan mesin dan peralatan produksi. Kelancaran kegiatan produksi sangat tergantung pada baik tidaknya mesin yang digunakan. Baik tidaknya suatu mesin

tergantung pada cara menggunakan mesin tersebut dan perawatan yang dilakukan. Kegiatan perawatan meliputi kegiatan pengecekan, meminyaki (*lubrication*) dan perbaikan atau reparasi atas kerusakan-kerusakan yang ada serta penyesuaian atau penggantian suku cadang (*spare part*) atau komponen yang terdapat pada mesin atau fasilitas tersebut.

Sistem perawatan harus memiliki respon yang baik terhadap kerusakan-kerusakan yang akan muncul maupun kapasitas kerja yang memadai untuk menangani kerusakan yang terjadi. Untuk kepentingan ini maka sistem perawatan harus memiliki dan menjalankan fungsi dari beberapa hal yaitu; variabel-variabel keputusan, kriteria kinerja, batasan, masukan, dan keluaran [10].

2.6. Teknik Perawatan Mesin

Beberapa teknik pemeliharaan yang telah banyak digunakan diberbagai industri termasuk industri proses adalah sebagai berikut:

a. Pemeliharaan reaktif (*Reactive maintenance*)

Teknik pemeliharaan ini berorientasi pada perbaikan kerusakan yang telah terjadi dan paling banyak dipergunakan karena cukup sederhana, fleksibel, dan murah terutama untuk mesin-mesin dan peralatan non-kritis bagi produksi.

b. Pemeliharaan korektif (*Corrective maintenance*)

Teknik pemeliharaan ini bertujuan untuk memperbaiki performansi dan kondisi awal dari pabrik pembuatnya. Hal ini dilakukan dengan melakukan modifikasi pada desain awal peralatan.

c. Pemeliharaan preventif (*Preventive maintenance*)

Teknik pemeliharaan ini bertujuan untuk memperkecil variasi kerusakan mesin per satuan waktu tertentu, menghindarkan kerusakan yang mendadak, dan memaksimumkan umurperalatan. Tujuan ini dicapai dengan melakukan pemeriksaan terjadwal untuk menjaga kondisi dan lingkungan

operasi peralatan pada titik optimal.

d. Pemeliharaan prediktif (*Predictive maintenance*)

Teknik pemeliharaan ini bertujuan untuk meramalkan kapan suatu peralatan akan rusak sehingga persiapan yang memadai dalam menghadapi hal tersebut dapat dilakukan sedini mungkin tanpa harus mengganggu proses produksi. Teknik ini menuntut peralatan diagnosis yang canggih dan mahal serta pengetahuan personil yang memadai akan berbagai gejala pra-kerusakan yang muncul. Sebagai contoh perubahan getaran atau vibrasi, suara abnormal, temperatur, dan tekanan pada suatu peralatan.

e. RCM (*Realibility Centered Maintenance*)

RCM adalah suatu pendekatan analisis yang dapat membantu untuk memprioritaskan tugas-tugas pemeliharaan atas peralatan yang ada. Dengan memanfaatkan RCM bagian pemeliharaan dapat lebih fokus dan terarah dalam melaksanakan aktifitasnya. RCM memanfaatkan data-data masa lalu peralatan dan pengamatan operator yang telah betul mengenal peralatannya [15].

Total perawatan produktif adalah suatu program untuk pengembangan fundamental dari fungsi pemeliharaan dalam suatu organisasi, yang melibatkan seluruh SDM-nya. Jika diimplementasikan secara penuh, TPM secara dramatis meningkatkan produktivitas dan kualitas, serta menurunkan biaya. TPM merupakan pemeliharaan produktif yang dilaksanakan oleh seluruh karyawan melalui aktivitas kelompok kecil yang terencana. Dalam TPM operator mesin bertanggung jawab untuk pemeliharaan mesin, disamping operasinya. Implementasi TPM dapat mewujudkan penghematan biaya yang cukup baru melalui peningkatan produktivitas mesin. Semakin baru derajat otomatisasi pabrik, semakin baru pengurangan biaya yang diwujudkan oleh TPM.

2.7. Spesifikasi Motoran Mill



Gambar 2.2. Motoran penggilingan PT PNS

Pada Gambar 2.2 merupakan penggunaan oprasional penggilingan dipakai motoran dengan daya 1300 kW denga merek ABB india motoran Ac ini memiliki beberapa spesifikasi antara lain menggunakan koneksi 3 phase dan daya 1300 kW, mampu mencapai RPM 1200 dan tegangan 690 Volt, 1300 Amper dan $\cos\phi$ 0,80.

Motoran ini mampu bekerja di suhu lingkungan sekitar 50 derajat dan presentase efektifitas kerja mencapai 95%. Dengan target penggilingan 6000 TCD (*Ton Cane Day*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei sampai September 2024. Bertempat di Site PT Pratama Nusantara Sakti, Kec. Sungai Menang, Kabupaten Ogan Komering ilir, Sumatra Selatan. Area penggilingan divisi produksi.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu alat penggilingan gula mulai dari *Cane Preparation* samapai *Milling, Distribute Control Sistem* (DCS), data hasil uji Analisa bagas dari beberapa kondisi. Penelitian ini dilakukan pada bulan April - Mei 2025 dan dilaksanakan di pabrik PT Pratama Nusantara Sakti. Penelitian ini menggunakan analisa logika *fuzzy* untuk mengetahui optimasi nilai kecepatan motor terhadap nilai pol bagas.

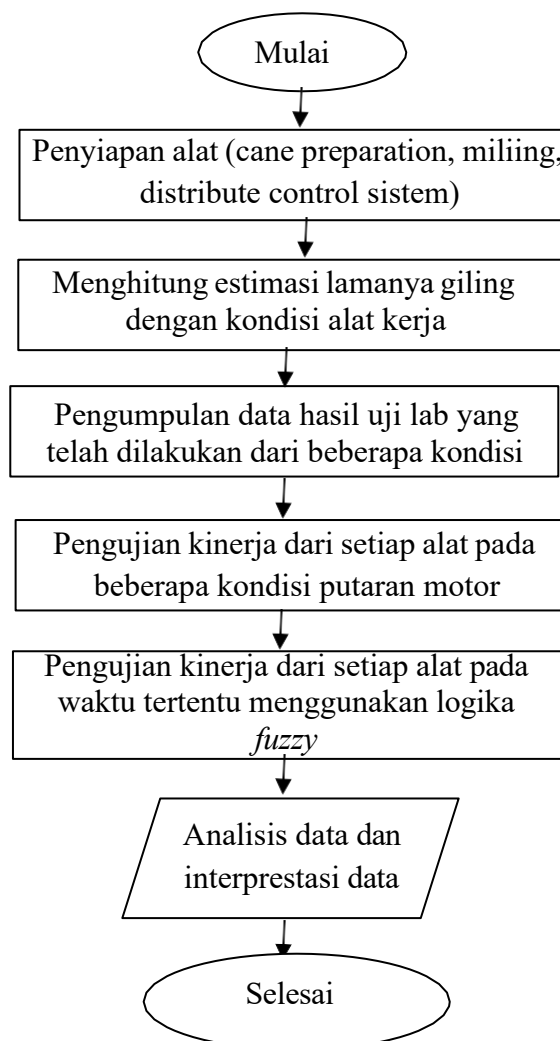
Proses simulasi kegiatan pengambilan ampas bagas di ambil setiap pengaturan awal kecepatan motor mulai dari putaran lambat sampai putaran cepat dan di analisa dengan alat polmeter. Analisa dilakukan pada bagas atau ampas tebu tebu yang digiling sebagai bahan baku gula seolahhan diujikan pada responden meliputi parameter warna, kelembaban, tekstur.

3.3. Tahapan Penelitian

Tahapan diawali dengan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan serta komponen pendukungnya. Setelah itu dilakukan Pengumpulan data hasil analisa yang terjadi pada bagas selama penggilingan. Melakukan analisa data

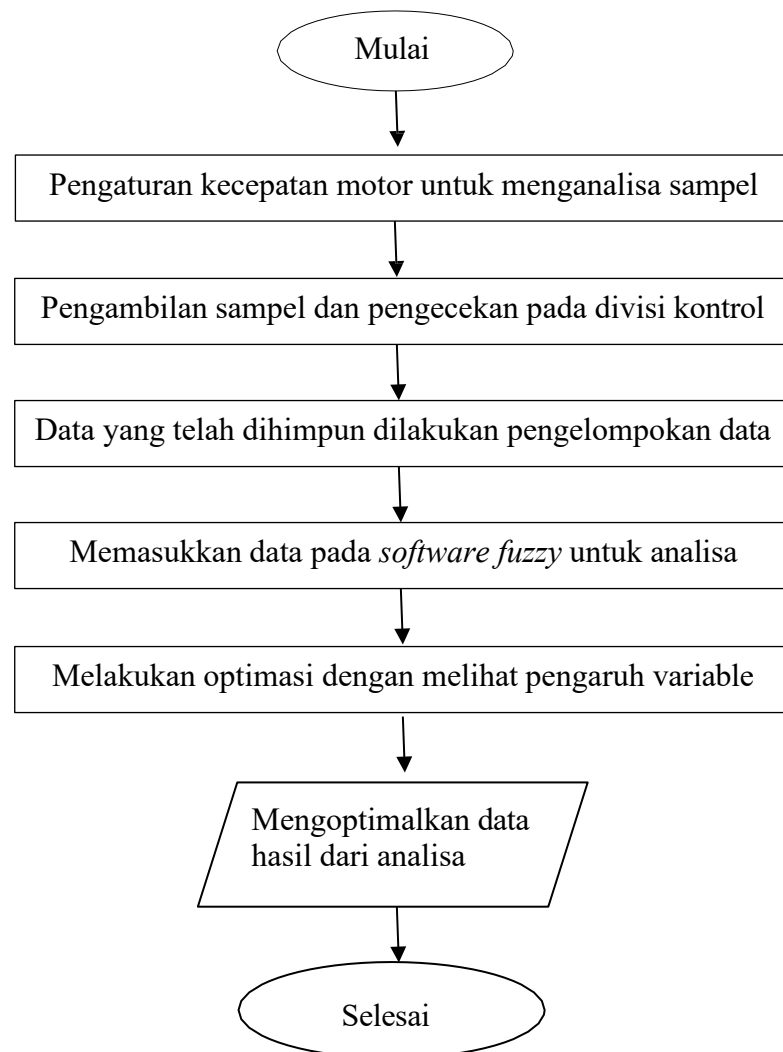
dengan menggunakan logika *fuzzy* dengan menentukan putaran motor dan kondisi alat dan hasil uji bagas.

Pengujian kinerja dari awal giling sampai akhir musim giling berakhir dengan mengumpulkan semua data hasil uji laboratorium dengan perhitungan kondisi bagas yang akan menjadi parameter utama. Setelah semua tahapan selesai, dilakukan analisis dan pengolahan data berdasarkan pengamatan yang dilakukan.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Pada Gambar 3.1 tahapan dimulai dari penyiapan alat penggilingan, lalu menghitung estimasi penggilingan untuk menentukan putaran motor yang stabil sehingga menghasilkan nilai pol bagas yang optimal, setelah penggilingan di lakukan kita dapat mengumpulkan data pol bagas melalui divisi kontrol yang merupakan hasil uji laboratorium, menguji kinerja alat pada beberapa kondisi putaran menggunakan logika *fuzzy*.



Gambar 3.2. Diagram alir sistem penelitian

Pada Gambar 3.2 diagram alir sistem penelitian merupakan rangkaian dari perancangan sistem menghitung optimalisasi putaran untuk mengukur

putaran yang dianjurkan sehingga menghasilkan nilai bagas 1,2 dari ampas tebu, membandingkan dan melogikakan antara data dan actual yang di lapangan.

3.4. Deskripsi Umum Penggilingan

Penggilingan tebu adalah proses penggilingan tebu untuk mengekstrak nira tebu yang kemudian diolah menjadi gula. Proses ini terdiri dari beberapa tahap:

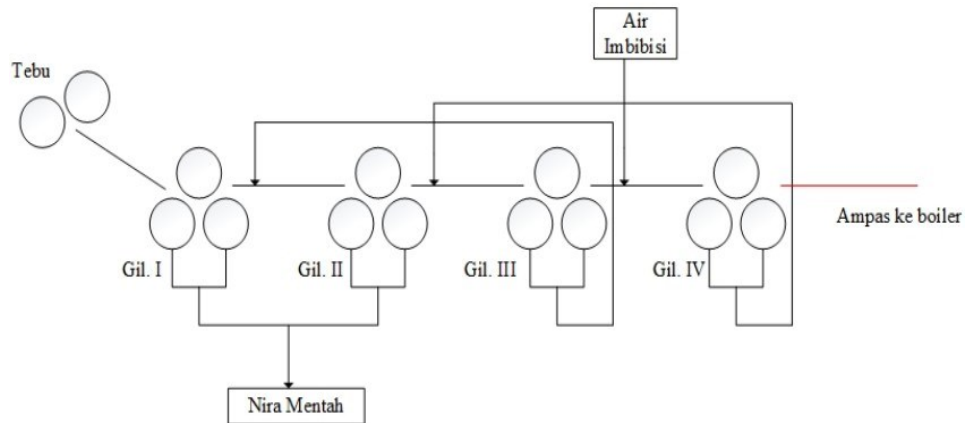
Persiapan tebu dan penggilingan tebu dipanen dan diangkut ke pabrik pengolahan. Daun dan kotoran lainnya dibuang. Tebu dipotong-potong menjadi ukuran yang lebih kecil. Pada tahap Penggilingan Tebu digiling melalui serangkaian roller untuk memeras nira tebu. Roller ini semakin menekan tebu untuk mengeluarkan nira sebanyak mungkin. Ampas tebu (sisa tebu setelah nira diekstrak) dibuang sebagai limbah.

Pemurnian nira tebu disaring untuk menghilangkan kotoran dan serat. Nira kemudian dipanaskan dan diolah dengan kapur untuk menetralkan asam dan mengendapkan kotoran. Nira yang dimurnikan disebut nira jernih. Nira jernih diuapkan dalam evaporator untuk menghilangkan air. Proses ini menghasilkan sirup tebu yang sangat prima.

Kristalisasi sirup tebu didinginkan dan dikonversi menjadi kristal gula. Kristal gula dipisahkan dari sirup dengan centrifuge. Pengeringan dan Pengemasan gula dikeringkan dan dikemas untuk dijual.

Produk sampingan penggilingan adalah ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku untuk pembuatan produk lain seperti kertas dan papan. Tetes tebu, produk sampingan dari proses kristalisasi, dapat digunakan sebagai pemanis atau bahan baku untuk pembuatan *biofuel*.

Penggilingan adalah proses yang kompleks dan penting untuk produksi gula. Proses ini membutuhkan banyak energi dan air, dan menghasilkan emisi gas rumah kaca. Upaya sedang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses penggilingan tebu.



Gambar 3.3. Diagram proses penggilingan gula

Pada Gambar 3.3 menjelaskan tentang alur penggilingan pada stasiun penggilingan yang berjumlah 4 penggilingan, mulai dari tebu masuk diperas sampai menjadi ampas bagas yang siap dikirim ke stasiun pembakaran atau boiler, selanjutnya hasil perahan tebu tersebut menghasilkan nira yang siap dikirim ke stasiun penguapan sampai stasiun pengkristalan hingga menjadi gula jadi.

3.5. Pengaturan Logika Penggilingan

Analisa akan dilakukan dengan menggunakan logika putaran penggilingan yang terdapat pada sistem *DCS mill* dengan mengubah dan mengamati putaran motor sehingga parameter pol bagas dapat sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh manajemen.

Logika putaran giling ini melihat beberapa parameter saat penggilingan yaitu *load* (beban yang dihasilkan oleh putaran motor), melihat kapasitas tebu yang masuk dan parameter alat yang digunakan. Berikut dijelaskan dengan logika penggilingan pada sistem DCS.



Gambar 3.4. Logika kecepatan giling yang di atur oleh operator mill DCS

Gambar 3.4 merupakan pengaturan kecepatan penggilingan oprator harus melihat beban kerja pada mesin *mill* dan melihat kapasistas bagas yang masuk kedalam penggilingan. Sehingga pimpinan dapat menginstruksikan logika putaran giling yang seusai dengan kondisi disekitar sehingga parameter pol bagas dapat tercapai. Nilai putaran giling ini menentukan baru nilai pol yang akan dianalisa oleh pengontrol produksi.

3.6. Pengambilan Kesimpulan *Fuzzy* dengan Metode Mamdani

Metode mamdani adalah teknik populer dalam sistem *inferensi fuzzy*. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses pengambilan keputusan menggunakan metode ini:

1. *Fuzzifikasi* atau mengubah data *input* yang bersifat crisp menjadi nilai *fuzzy*.

Proses ini melibatkan penggunaan fungsi keanggotaan untuk mengidentifikasi derajat keanggotaan dari setiap *input* dalam himpunan *fuzzy* yang telah didefinisikan.

2. Penerapan aturan *Fuzzy* menggunakan basis aturan *fuzzy* yang telah ditentukan, di mana setiap aturan biasanya memiliki bentuk "Jika (*input*) maka (*output*)". Aturan-aturan ini menggabungkan *input fuzzy* untuk menghasilkan *output fuzzy*.
3. *Agregasi* atau menggabungkan semua *output fuzzy* yang dihasilkan dari setiap aturan. Ini dilakukan dengan menggunakan metode agregasi seperti maksimum atau minimum, untuk menghasilkan satu himpunan *fuzzy output*.
4. *Defuzzifikasi*, mengubah *output fuzzy* menjadi nilai crisp. Proses ini menggunakan metode seperti *centroid* atau *bisector* untuk menentukan nilai akhir yang paling representatif dari *output fuzzy*.
5. *Interpretasi*, menginterpretasikan hasil akhir untuk pengambilan keputusan atau tindakan lebih lanjut berdasarkan nilai crisp yang dihasilkan.

Metode mamdani sangat efektif dalam situasi di mana ketidakpastian dan kompleksitas tinggi, karena dapat menangani *input* yang tidak pasti dan memberikan hasil yang lebih manusiawi.

3.7. Menentukan *input* dan *output* dalam Metode Mamdani

Menentukan *input* dan *output* dalam metode mamdani adalah langkah penting untuk memastikan bahwa sistem inferensi *fuzzy* berfungsi dengan baik. Berikut adalah langkah-langkah sistematis untuk menentukan variabel *input* dan *output*:

Identifikasi masalah pahami konteks dan tujuan sistem. Tentukan masalah yang ingin diselesaikan dan hasil yang diinginkan. Penentuan variabel *input* kumpulkan data. Identifikasi data yang relevan yang dapat memengaruhi keputusan. Pertimbangkan variabel yang dapat diukur atau diamati.

Tentukan jumlah *input* pilih variabel *input* yang cukup untuk mewakili

situasi tanpa terlalu kompleks. Biasanya 2—5 variabel *input* adalah ideal. Definisikan himpunan *Fuzzy* tentukan himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel *input*, termasuk istilah linguistik yang sesuai (misalnya, rendah, sedang, tinggi) dan fungsi keanggotaan yang digunakan untuk setiap istilah.

Penentuan variabel *output* menentukan hasil yang diinginkan identifikasi apa yang ingin dicapai sebagai *output* dari sistem. Pilih variabel *output* Seperti *input*, pilih variabel *output* yang relevan dan representatif. Definisikan himpunan *fuzzy* Tentukan himpunan *fuzzy* untuk variabel *output*, dengan istilah linguistik yang tepat dan fungsi keanggotaan.

Validasi variabel pastikan bahwa semua variabel *input* dan *output* yang dipilih relevan dan cukup untuk merepresentasikan masalah. Uji coba dengan menggunakan data historis atau eksperimen untuk menilai keefektifan variabel yang dipilih.

Konsultasi dengan ahli jika memungkinkan, diskusikan dengan ahli dalam bidang terkait untuk mendapatkan wawasan tambahan tentang variabel yang mungkin relevan.

Dengan langkah-langkah ini, dapat secara sistematis menentukan *input* dan *output* yang tepat untuk sistem inferensi *fuzzy* menggunakan metode Mamdani.

3.8. Perbedaan Tiga Metode *Fuzzy*

Berikut adalah ringkasan singkat tentang tiga metode utama dalam sistem inferensi *fuzzy* yaitu Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto, beserta kelebihan dan kelemahan masing-masing:

1. Metode Mamdani menggunakan aturan *fuzzy* berbentuk "Jika (*input*) maka (*output*)" dengan *output* yang juga *fuzzy*. Kelebihan Mudah dipahami dan diterapkan, Lebih intuitif dan mirip dengan cara berpikir manusia. Cocok untuk masalah yang kompleks dan tidak terstruktur.

Adapun kelemahannya proses defuzzifikasi bisa memakan waktu, lebih sulit dalam mengoptimalkan aturan, terutama jika jumlah *input* dan *output*

banyak.

2. Metode Takagi-Sugeno menggunakan aturan *fuzzy* dengan *output* yang bersifat *crisp* (biasanya berupa fungsi linier) berdasarkan *input*. Kelebihan defuzzifikasi lebih sederhana karena *outputnya* adalah fungsi matematis, lebih efisien dalam hal komputasi dan lebih mudah untuk dioptimalkan, cocok untuk aplikasi yang memerlukan prediksi numerik.

Adapun kelemahannya kurang intuitif dibandingkan metode mamdani, tidak se-fleksibel mamdani dalam menangani *output fuzzy* yang kompleks.

3. Metode Tsukamoto mirip dengan Takagi-Sugeno, tetapi *outputnya* adalah fungsi monoton (biasanya linear) yang selalu menaik atau menurun. kelebihan defuzzifikasi yang lebih mudah karena *outputnya* bersifat monoton, memudahkan interpretasi hasil, terutama dalam konteks kontrol.

Kelemahan terbatas dalam fleksibilitas *output* yang bisa dihasilkan, tidak sekuat mamdani dalam menangani ketidakpastian yang tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Putaran motor penggilingan terbukti berpengaruh terhadap nilai pol ampas tebu. Pengaturan putaran motor yang tidak sesuai dapat menyebabkan kondisi *overgrinding* (putaran terlalu tinggi) pada Rpm 950 atau *undergrinding* (putaran terlalu rendah) pada putaran Rpm 650, yang berdampak langsung pada penurunan efisiensi ekstraksi gula.
2. Selain putaran motor, enam faktor utama yang dianalisis, yaitu faktor mesin (kecepatan putar motor, lama pemakaian alat, dan beban motor) serta faktor pendukung proses penggilingan (jumlah air imbibisi, suhu proses, dan masa terbang tebu), terbukti memengaruhi nilai pol ampas tebu. Kombinasi pengaturan faktor-faktor ideal terjadi pada kondisi putaran motor Rpm 950 kondisi air 35% dan masa terbang 1 hari faktor tersebut ideal mempengaruhi dan menghasilkan mutu ekstraksi paling rendah.
3. Model prediksi berbasis logika fuzzy yang dikembangkan mampu mensimulasikan hubungan antara variabel input dan nilai pol ampas tebu secara efektif. Hal ini ditunjukkan dengan menunjukkan bahwa logika fuzzy sesuai digunakan untuk memodelkan sistem penggilingan tebu yang bersifat nonlinier dan mengandung ketidakpastian.
4. Evaluasi kinerja model menunjukkan tingkat akurasi yang baik, ditunjukkan oleh nilai RRMSE sebesar 16% pada tahap pengujian. Nilai error tersebut

mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang cukup andal dan stabil dalam merepresentasikan kondisi operasional pabrik.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah:

1. Bagi industri gula, khususnya PT. Pratama Nusantara Sakti, sistem prediksi berbasis *fuzzy logic* dapat dipertimbangkan untuk diintegrasikan ke dalam sistem kontrol terdistribusi (DCS) agar operator memperoleh panduan parameter giling secara real-time.
2. Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk:
 - Menambahkan variabel *input* lain, misalnya kelembapan bagas atau variasi varietas tebu, agar prediksi semakin akurat.
 - Menerapkan metode *fuzzy hybrid* (misalnya *fuzzy-neuro* atau *fuzzy-genetic*) untuk meningkatkan kemampuan prediksi.
 - Mengembangkan sistem berbasis *IoT* agar pemantauan faktor produksi dapat dilakukan secara otomatis dan berkesinambungan.
3. Bagi pihak manajemen pabrik, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan evaluasi untuk menyusun standar operasional prosedur (SOP) baru terkait pengaturan kecepatan motor, suplai air, dan suhu penggilingan, sehingga mutu gula dapat lebih terjaga dan kerugian akibat *losses* dapat ditekan.
4. Penelitian ini masih terbatas pada simulasi dan data percobaan dalam jangka waktu tertentu. Oleh karena itu, diperlukan uji implementasi jangka panjang di lapangan agar diperoleh validasi lebih menyeluruh mengenai keandalan model *fuzzy* dalam kondisi produksi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. S. Abdullah *et al.*, “A *Fuzzy Logic* Controller for Two Position Pump in Heavy Metal Precipitation,” in *Proc. IEEE ICIPAR*, 2011.
- [2] K. Afiq, “Speed Control of DC Motor by Using *Fuzzy Logic* Controller,” no. 35, Jun. 2012.
- [3] Y. A. Almatheel and A. Abdelrahman, “Speed Control of DC Motor Using *Fuzzy Logic* Controller,” in *Proc. ICCCEE*, 2017.
- [4] Badan Pusat Statistik, *Laporan Produksi Gula Nasional Tahun 2018*. Jakarta: BPS, 2019.
- [5] Y. Bai, H. Zhuang, and D. Wang, Eds., *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. Springer, 2007.
- [6] E. Dadios, Ed., *Fuzzy Logic – Controls, Concepts, Theories and Applications*. IntechOpen, 2012.
- [7] N. Due, “*Quality control* Analysis of Bagasse in Sugar Mills Using Mewmv and Mewma Control Chart,” no. 1–3, Jul. 2023.
- [8] H. Gunawan, *Sejarah Perkebunan Tebu di Indonesia*. Jakarta: Pustaka Sejahtera, 2010.
- [9] M. D. Hanamane, K. D. Attar, and R. R. Mudholkar, “Embedded *Fuzzy* Module for Sugar Industrial Boiler Parameter Control,” 2013.
- [10] W.B.V. Kandasamy and F. Smarandache, *Methods in Industrial Biotechnology for Chemical Engineers*. arXiv, 2008.
- [11] H. A. Hashim *et al.*, “A *Fuzzy Logic* Feedback Filter Design Tuned with PSO for L1 Adaptive Controller,” *arXiv:1802.07251*, 2018.
- [12] S. Iskandar, *Manajemen Industri Gula: Dari Proses Produksi hingga Pemasaran*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2012.
- [13] ISO, *ISO 9001:2000 Quality Management Systems—Requirements*.

International Organization for Standardization, 2000.

- [14] G. Klir and B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall, 1995.
- [15] A. Kusumawati and A. Ardiansyah, “Dampak varietas yang berbeda terhadap hasil gula semut berbahan nira tebu,” *Fruitset Sains*, vol. 3, no. 11, p. 23, Feb. 2023.
- [16] G. MadhusudhanaRao and B. V. SankerRam, “Speed Control of Multi Level Inverter Designed DC Series Motor with Neuro Fuzzy Controllers,” *arXiv:0912.3962*, 2009.
- [17] E. H. Mamdani and S. Assilian, “An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller,” *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [18] J. M. Mendel, *Introduction to Type 2 Fuzzy Logic Control: Theory and Application*. Wiley, 2014.
- [19] N. Messaadi and A. Amroun, “Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller,” *arXiv:2108.05450*, 2021.
- [20] Y. Misra and H. R. Kamath, “Analysis and Design of a Three Inputs Fuzzy System for Maintaining the Cane Level during Sugar Manufacturing,” *J. Automation Control*, vol. 2, no. 3, pp. 62–78, 2014.
- [21] Y. Misra, D. Vyas, and H. R. Kamath, “Comparison and Analysis of Defuzzification Methods of a Fuzzy Controller to Maintain the Cane Level,” *ORESTAT*, vol. 6, no. 2, pp. 386–400, 2015.
- [22] W. Na, “Fuzzy Controller for Continuous Soaking Process in a Sugar Plant,” *IJEIT*, vol. 1, no. 6, pp. 42–50, 2012.
- [23] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Prentice Hall, 2010.
- [24] D. N. Putri and H. A. Manshur, “Analisis Performa Produksi Gula di Pabrik Gula Ngadirejo,” vol. 9, no. 3, p. 279, Dec. 2023.
- [25] A. Riyadi, “Implementasi Fuzzy Logic pada Pengendalian Putaran Motor DC,” Tesis, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [26] M. T. F. Saidahmed, A. M. A. Ibrahim, and B. G. Elkilany, “Optimizing Juice Extraction in Sugar Mills: Application of Time Delay Compensation with Intelligent Controllers,” *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 3, 2024.
- [27] D. R. Silva et al., “Fuzzy Control Applied to Combustion in Sugarcane Bagasse

Boilers,” in *Handbook of Smart Energy Systems*, 2021.

- [28] A. Siregar and M. Harahap, “Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Perkembangan Industri Gula di Indonesia,” *J. Ekon. Pertanian*, vol. 11, no. 2, pp. 145–160, 2018.
- [29] A. Sucipto and D. Hadi, “Pengaruh Kecepatan Putaran Motor pada Efisiensi Pabrik Gula,” *Laporan Teknik, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia*, 2010.
- [30] R. Utami, “Analisis Efisiensi Operasional Pabrik Gula di Jawa Tengah,” *J. Teknol. Ind.*, vol. 15, no. 1, pp. 35–45, 2021.