



DESAIN MODEL PREDIKSI PRODUKTIVITAS, RENDEMEN, SUSUT DAN OPTIMASI TEBANG MUAT ANGKUT GILING HULU AGROINDUSTRI GULA TEBU

THABED THOLIB BALADRAF



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Desain Model Prediksi Produktivitas, Rendemen, Susut dan Optimasi Tebang Muat Angkut Giling Hulu Agroindustri Gula Tebu” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, April 2026

Thabed Tholib Baladraf
F3501241015

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

THABED THOLIB BALADRAF. Desain Model Prediksi Produktivitas, Rendemen, Susut dan Optimasi Tebang Muat Angkut Giling Hulu Agroindustri Gula Tebu. Dibimbing oleh MARIMIN, IRMAN HERMADI, dan ANDES ISMAYANA.

Agroindustri gula tebu menghadapi permasalahan struktural berupa ketidakpastian kondisi agronomis dan ketidakstabilan sistem tebang–muat–angkut–giling yang berdampak pada penurunan produktivitas, rendemen, dan peningkatan susut sepanjang rantai tebang muat angkut giling. Monitoring konvensional pada level lahan yang tidak *real time* dan memiliki nilai error relatif 7,22% menyebabkan keputusan panen bersifat reaktif dan menimbulkan *mismatch*. Hal ini menyebabkan dampak lanjutan yang merugikan berupa antrian ekstrem, penurunan kualitas tebu, dan kerugian operasional pada agroindustri gula tebu dan petani. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan eksisting tidak lagi memadai, dan diperlukan mekanisme prediktif yang mampu mengestimasi kondisi agronomis serta kualitas tebu secara kuantitatif sebelum keputusan operasional diambil.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) menganalisis kemampuan prediktif model *machine learning* pada kondisi operasional nyata dalam mengestimasi aspek agronomis tebu berupa ketinggian, produktivitas, dan °Brix di level lahan, 2) menganalisis kemampuan integrasi prediksi susut berbasis *machine learning* dengan optimasi tebang muat angkut melalui *Non Dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) dalam pemilihan rute spasial dinamis dan penjadwalan tersesuai di hulu agroindustri gula tebu, 3) menghasilkan rancangan arsitektur sistem berbasis spasial, *machine learning*, dan algoritma metaheuristik dalam mengoptimalkan proses di hulu agroindustri gula tebu.

Business Process Modelling Notation (BPMN) dan *Goal Oriented Requirement Engineering* (GORE) digunakan untuk pemetaan kondisi terkini dengan berbasiskan informasi agroindustri gula tebu. Terdapat dua submodel yang dirancang dalam penelitian ini yaitu submodel monitoring pertumbuhan panen dan submodel optimasi tebang muat angkut giling. Pada submodel monitoring pertumbuhan panen, digunakan data mingguan indikator morfologi dari pabrik gula, indikator meteorologi dari ERA5, indikator vegetasi dan indikator derivatif yang didapatkan dari satelit (Sentinel-2, Landsat-9, fusion) dengan distribusi dan rentang waktu selaras yaitu 2021-2024 di Jawa Timur sebagai dasar pengembangan model prediksi ketinggian, produktivitas, dan °Brix. Data dikelompokkan berdasarkan sumber citra dan digunakan sebagai variabel prediktor dalam model *machine learning*. *Preprocessing* dan *feature selection* dilakukan pada masing masing kelompok data dan selanjutnya digunakan sebagai input pada *machine learning* *Extreme Gradient Boosting* (XGB), *Random Forest* (RF), dan *Support Vector Regression* (SVR) untuk prediksi ketinggian, produktivitas, dan °Brix tingkat lahan.

Pada submodel optimasi tebang muat angkut giling, digunakan data harian lingkungan dan operasional yang mencakup lokasi lahan, lokasi pabrik, jarak dan waktu tempuh, volume tebu per petak, data kedatangan truk, kapasitas sistem, data antrian, data ambient, data tipe jalan, dan data historis °Brix selama transportasi

serta tunggu giling. Data yang telah dikumpulkan akan digunakan dalam memprediksi susut transportasi dan susut tunggu giling melalui XGB yang nantinya digunakan sebagai input dalam fungsi tujuan sehingga optimasi akan terintegrasi *machine learning*. Optimasi rute dirancang melalui NSGA-II untuk tiga tujuan yaitu F1 (minimasi jarak), F2 (minimasi waktu), F3 (minimasi susut) dengan lima skenario dinamis untuk menghasilkan rekomendasi rute adaptif. Sedangkan optimasi penjadwalan giling dengan NSGA-II memiliki dua tujuan F1 (minimasi waktu tunggu) dan F2 (minimasi susut) dengan enam skenario dinamis untuk menghasilkan distribusi jadwal giling ideal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi terkini hulu agroindustri gula tebu didominasi praktik dengan metode tradisional pada proses monitoring dan pengambilan keputusan yang dilakukan. Di sisi lain, integrasi antar proses masih terfragmentasi sehingga menimbulkan inefisiensi dan keputusan berbasis intuisi. Mengacu kepada permasalahan tersebut, diketahui terdapat dua kebutuhan sistem utama yaitu submodel monitoring pertumbuhan panen dan optimasi sistem tebang muat angkut giling pada agroindustri gula tebu.

Hasil perancangan prediksi ketinggian tebu menunjukkan bahwa algoritma XGB menghasilkan nilai R^2 dalam rentang 0,8551–0,9126, diikuti oleh SVR dengan rentang 0,8476–0,9038, dan RF dengan nilai 0,8561–0,9001. Pada perancangan model prediksi produktivitas, didapatkan rentang R^2 pada XGB sebesar 0,8880–0,9433, diikuti oleh SVR dengan rentang 0,8941–0,9358, dan RF dengan nilai 0,8864–0,9393. Sedangkan pada prediksi °Brix, XGB menghasilkan R^2 sebesar 0,9246–0,9290, diikuti RF dengan R^2 0,9264–0,9275, dan SVR dengan R^2 0,9129–0,9270. Berdasarkan hasil perancangan submodel monitoring pertumbuhan panen ini, dihasilkan bahwa pendekatan XGB dengan kelompok data C menjadi kombinasi paling baik dibandingkan pendekatan lainnya.

Integrasi model *machine learning* dalam memprediksi susut °Brix pada proses transportasi dan waktu tunggu giling dikombinasikan dengan pendekatan metaheuristik berbasis *stochastic multiobjective optimization* melalui NSGA-II dan data spasial menunjukkan performa yang konsisten. Model prediktif susut transportasi dan tunggu giling masing-masing menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9195 dan 0,8634. Hasil prediksi tersebut selanjutnya diintegrasikan sebagai parameter dinamis dalam optimasi rute dan penjadwalan giling. Optimasi rute menghasilkan perbaikan kinerja dengan rentang 8,6%–12,1% untuk jarak, 4,5%–8,0% untuk waktu, dan 0,89%–1,26% untuk susut. Sementara itu, optimasi penjadwalan giling melalui enam skenario menunjukkan peningkatan kinerja pada waktu tunggu sebesar 32,9%–66,2% dan pada susut yang dihasilkan sebesar 26,3%–58,4%. Validasi menunjukkan peningkatan stabilitas dan pemerataan sistem, yang ditandai dengan perbaikan indikator distribusi dan ketidakpastian. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan sistem penunjang keputusan berbasis *predictive-prescriptive analytics* yang mampu mengurangi ketidakpastian, meningkatkan sinkronisasi suplai–proses, serta mengoptimalkan kinerja operasional agroindustri gula tebu.

Kata kunci: *artificial intelligence*, hulu agroindustri gula tebu, *machine learning*, metaheuristik, NSGA-II



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

THABED THOLIB BALADRAF. Productivity, Yield, Loss and Optimization Prediction Model Design for Cut-Load-Transport-Mill of Upstream Cane Sugar Agroindustry. Dibimbing oleh MARIMIN, IRMAN HERMADI, and ANDES ISMAYANA.

The sugarcane agroindustry faces structural challenges in the form of uncertain agronomic conditions and instability in the cut-load-transport-mill system, which result in decreased productivity and yield, as well as increased losses throughout the cut-load-transport-mill chain. Conventional monitoring at the field level, which is not real-time and has a relative error of 7.22%, leads to reactive harvesting decisions and creates mismatches. This results in detrimental downstream effects such as extreme queues, reduced sugarcane quality, and operational losses for the sugarcane agroindustry and farmers. These issues indicate that existing approaches are no longer adequate, and a predictive mechanism is needed that can quantitatively estimate agronomic conditions and sugarcane quality before operational decisions are made.

This study aims to 1) analyze the predictive capability of machine learning models under real-world operational conditions in estimating agronomic aspects of sugarcane specifically height, productivity, and °Brix at the field level, 2) analyze the capability of integrating machine learning-based shrinkage prediction with cut-load-transport-mill optimization using the Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) for dynamic spatial route selection and adaptive scheduling in the upstream sugarcane agroindustry, 3) develop a system architecture design based on spatial analysis, machine learning, and metaheuristic algorithms to optimize processes in the upstream sugarcane agroindustry.

The Business Process Modeling Notation (BPMN) and Goal-Oriented Requirement Engineering (GORE) were used to map the current state based on sugarcane agroindustry data. Two submodels were designed in this study: the crop growth monitoring and harvesting submodel and cut-load-transport-mill optimization submodel. In the crop growth monitoring and harvesting submodel, weekly data on morphological indicators from sugar mills, meteorological indicators from ERA5, vegetation indicators, and derived indicators obtained from satellites (Sentinel-2, Landsat-9, fusion) with aligned distribution and time ranges specifically 2021–2024 in East Java were used as the basis for developing a predictive model for height, productivity, and °Brix. The data are grouped by image source and used as predictor variables in machine learning models. Preprocessing and feature selection are performed on each data group and subsequently used as input for the machine learning algorithms Extreme Gradient Boosting (XGB), Random Forest (RF), and Support Vector Regression (SVR) to predict crop height, productivity, and °Brix at the plot level.

In the cut-load-transport-mill optimization submodel, daily environmental and operational data are used, including field locations, mill locations, distances and travel times, sugarcane volume per plot, truck arrival data, system capacity, queue data, ambient data, road type data, and historical °Brix data during transport and milling wait times. The collected data will be used to predict transportation shrinkage and milling wait shrinkage via XGB, which will later be used as input in



the objective function so that the optimization will be integrated with machine learning. Route optimization is designed using NSGA-II for three objectives: F1 (minimizing distance), F2 (minimizing time), and F3 (minimizing loss), with five dynamic scenarios to generate adaptive route recommendations. Meanwhile, milling schedule optimization using NSGA-II has two objectives: F1 (minimization of waiting time) and F2 (minimization of shrinkage), with six dynamic scenarios to generate an ideal milling schedule distribution.

The research results indicate that the current state of the upstream sugarcane agroindustry is dominated by traditional methods in monitoring and decision-making processes. On the other hand, integration between processes remains fragmented, leading to inefficiencies and intuition-based decisions. In light of these issues, two primary system requirements have been identified: a submodel for monitoring crop growth and a system for optimizing the cut-load-transport-mill processes in the sugarcane agroindustry.

The results of the sugarcane height prediction model design indicate that the XGB algorithm yields R^2 values ranging from 0.8551 to 0.9126, followed by SVR with a range of 0.8476–0.9038, and RF with values ranging from 0.8561 to 0.9001. In the design of the productivity prediction model, the R^2 range for XGB was 0.8880–0.9433, followed by SVR with a range of 0.8941–0.9358, and RF with a range of 0.8864–0.9393. Meanwhile, for °Brix prediction, XGB produced an R^2 of 0.9246–0.9290, followed by RF with an R^2 of 0.9264–0.9275, and SVR with an R^2 of 0.9129–0.9270. Based on the results of designing these harvest growth monitoring submodels, it was found that the XGB approach with data group C was the best combination compared to the other approaches.

The integration of machine learning models to predict °Brix loss during transportation and milling wait times, combined with a metaheuristic approach based on stochastic multiobjective optimization using NSGA-II and spatial data, demonstrated consistent performance. The predictive models for transportation loss and milling wait time yielded determination coefficients (R^2) of 0.9195 and 0.8634, respectively. These prediction results were subsequently integrated as dynamic parameters in route optimization and milling scheduling. Route optimization yields performance improvements ranging from 8.6% to 12.1% for distance, 4.5% to 8.0% for time, and 0.89% to 1.26% for shrinkage. Meanwhile, milling scheduling optimization across six scenarios demonstrated performance improvements in waiting time of 32.9%–66.2% and in resulting shrinkage of 26.3%–58.4%. Validation revealed enhanced system stability and uniformity, marked by improvements in distribution and uncertainty indicators. Overall, this study produced a decision support system based on predictive–prescriptive analytics to reducing uncertainty, improving supply–process synchronization, and optimizing the operational performance of the sugarcane agroindustry.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, metaheuristics, NSGA-II, upstream sugar cane agroindustry



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DESAIN MODEL PREDIKSI PRODUKTIVITAS, RENDEMEN, SUSUT DAN OPTIMASI TEBANG MUAT ANGKUT GILING HULU AGROINDUSTRI GULA TEBU

THABED THOLIB BALADRAF

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Desain Model Prediksi Produktivitas, Rendemen, Susut dan Optimasi Tebang Muat Angkut Giling Hulu Agroindustri Gula Tebu
Nama : Thabed Tholib Baladraf
NIM : F3501241015

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc

Pembimbing 2:
Dr. Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D

Pembimbing 3:
Dr. Andes Ismayana, STP., MT

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Eng. Ir. Taufik Djatna, M.Si
19700614 199512 1 001

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
19610502 198603 1 002

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak April 2025 hingga September 2025 ini ialah berjudul “Desain Model Prediksi Produktivitas, Rendemen, Susut dan Optimasi Tebang Muat Angkut Giling Hulu Agroindustri Gula Tebu”

Terima kasih penulis ucapkan terutama kepada komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc., Dr. Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D., dan Dr. Andes Ismayana, STP., MT yang telah mencurahkan ilmu tiada henti, membimbing dengan sabar dan banyak memberi saran dalam pelaksanaan penelitian hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan memberikan dampak terhadap bidang agroindustri. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. IPB University dan Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi melalui Beasiswa Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasi penulis dalam menempuh pendidikan tinggi.
2. Seluruh dosen Divisi Teknik Sistem dan Industri dalam hal ini Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc., Prof. Dr. Eng. Ir. Taufik Djatna, M.Si., Prof. Dr. Ir. Machfud, M.S., Prof. Dr Hartrisari H, DEA, IPM., Dr, Elisa Anggraeni, S.T.P, M.Sc, IPM atas ilmu yang telah diberikan terkait ilmu teknik sistem dan keindustrian kepada penulis.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. Taufik Djatna, M.Si selaku penguji luar komisi pembimbing yang memberikan penyempurnaan dan masukan konstruktif untuk penelitian tesis magister penulis sehingga menambah kedalaman dan ketajaman analisis serta meningkatkan kebermanfaatan karya.
4. Ungkapan terima kasih disampaikan kepada Abi tercinta (Alm.) Tholib Salim Baladraf dan Mama tersayang Puji Indri Antini. Terima kasih atas jerih payah perjuangan dan doa yang tiada henti kepada penulis untuk menggapai mimpi-mimpinya. Terima kasih telah menjadi sayap bagi penulis untuk menempuh pendidikan setinggi tingginya.
5. Bapak Ir. Reza Aulia Akbar, S.T., M.T., MBA yang membantu penulis sebagai mentor kehidupan sehingga mampu membentuk karakter, memastikan dan menemani penulis supaya dapat melangkah pada koridor yang semestinya dan memberi pelajaran hal baru setiap harinya.
6. Tak lupa terima kasih untuk adik-adik, rekan-rekan serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya secara material maupun mental kepada penulis sehingga penulis berhasil menyelesaikan karya ilmiah dengan baik dan tepat waktu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan khususnya bagi transformasi agroindustri gula tebu guna menciptakan berbagai dampak positif bagi agroindustri gula tebu dan dunia. Selain itu semoga karya ilmiah ini dapat memberikan maslahat bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026
Thabed Tholib Baladraf

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	5
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komoditas Tebu	5
2.2 Rantai Pasok Agroindustri Gula Tebu	7
2.3 Rantai Pasok Digital Pertanian	9
2.4 <i>Supervised Machine Learning</i>	9
2.5 Sistem Informasi Geografis	12
2.6 Algoritma Optimasi Rute Metaheuristik	13
2.7 Sistem Penunjang Keputusan Cerdas Agroindustri	14
III METODE	16
3.1 Kerangka Pemikiran	16
3.2 Tahapan Penelitian Umum	18
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.4 Analisis Kondisi Terkini dan Kebutuhan Hulu Agroindustri Gula	19
3.5 Kerangka Model	20
3.6 Submodel Monitoring Pertumbuhan dan Panen Tebu	21
3.7 Submodel Optimasi Tebang Muat Angkut Giling	28
3.8 Perancangan Sistem Penunjang Keputusan Cerdas	37
3.9 Teknik Pengumpulan Data	38
3.10 Lingkungan Pembangunan Model	38
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Analisis Kondisi Terkini Digitalisasi Agroindustri Gula Tebu	39
4.2 Analisis Kebutuhan Sistem	43
4.3 Submodel Monitoring Pertumbuhan dan Panen	55
4.4 Submodel Optimasi Tebang Muat Angkut Giling	92
4.5 Arsitektur Sistem Penunjang Keputusan Hulu	135
4.6 Fase dan Posisi Transformasi Digital Agroindustri Gula Tebu	142
V PENUTUP	146
5.1 Simpulan	146
5.2 Saran	146
DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN	170
RIWAYAT HIDUP	189



DAFTAR TABEL

1	Komposisi kandungan bahan dalam komoditas tebu	6
2	Indikator vegetasi multispektral	23
3	Variabel derivatif	25
4	<i>Outer validation</i> model <i>machine learning</i>	26
5	<i>Inner validation</i> model <i>machine learning</i>	26
6	Analisis kebutuhan transformasi digital hulu agroindustri gula tebu	46
7	Aktor <i>task</i> dan <i>resource</i> transformasi digital hulu agroindustri gula tebu	47
8	<i>Feature selection</i> prediksi ketinggian tebu pada ketiga kelompok data	59
9	Komparasi performa prediksi ketinggian tebu melalui RF	60
10	Komparasi performa prediksi ketinggian tebu melalui SVR	63
11	Komparasi performa prediksi ketinggian tebu melalui XGB	65
12	<i>Feature selection</i> prediksi produktivitas tebu pada ketiga kelompok data	71
13	Komparasi performa prediksi produktivitas tebu melalui RF	73
14	Komparasi performa prediksi produktivitas tebu melalui SVR	75
15	Komparasi performa prediksi produktivitas tebu melalui XGB	78
16	<i>Feature selection</i> prediksi °Brix tebu pada ketiga kelompok data	83
17	Komparasi performa prediksi °Brix tebu melalui RF	84
18	Komparasi performa prediksi °Brix tebu melalui SVR	86
19	Komparasi performa prediksi °Brix tebu melalui XGB	89
20	<i>Feature selection</i> prediksi susut transportasi	92
21	Performa model prediksi susut pada transportasi	94
22	<i>Feature selection</i> prediksi susut tunggu giling	95
23	Performa model prediksi susut tunggu giling	96
24	Parameter NSGA-II optimasi rute pengiriman tebu	99
25	Representasi kromosom dan perhitungan <i>softmax</i> lahan Kendalpayak	99
26	Representasi kromosom dan perhitungan <i>softmax</i> lahan Bakalan	100
27	Representasi kromosom dan perhitungan <i>softmax</i> lahan Jambearjo	100
28	Operasi mutasi Gaussian pada lahan Kendalpayak	102
29	Operasi mutasi Gaussian pada lahan Bakalan	102
30	Operasi mutasi Gaussian pada lahan Jambearjo	102
31	Analisis konvergensi optimasi rute pengiriman tebu	103
32	Rentang nilai solusi optimasi rute berbasis Pareto front	106
33	<i>Knee point</i> solusi optimasi rute berbasis Pareto front	106
34	Definisi solusi terpilih pada ketiga lahan	107
35	Verifikasi solusi <i>non dominated</i> pada ketiga lahan	107
36	Parameter NSGA-II optimasi penjadwalan penggilingan tebu	115
37	Representasi gen kromosom NSGA-II penjadwalan penggilingan tebu	116
38	Skenario operasional dan parameter dalam fungsi objektif penjadwalan penggilingan tebu melalui NSGA-II	116
39	Solusi representatif populasi akhir lintas front	116
40	Verifikasi domain antar pasangan solusi	117
41	<i>Crowding distance</i> front solusi	117
42	Detail perhitungan SBX	118
43	Detail perhitungan PM	119
44	Evolusi pencarian solusi penjadwalan giling NSGA-II	119
45	DES FCFS penjadwalan giling skenario normal	122

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL LANJUTAN

46	DES NSGA-II penjadwalan giling skenario normal	122
47	DES FCFS penjadwalan giling skenario <i>maintenance</i>	123
48	DES NSGA-II penjadwalan giling skenario <i>maintenance</i>	124
49	DES FCFS penjadwalan giling skenario <i>unloading delay</i>	125
50	DES FCFS penjadwalan giling skenario <i>unloading delay</i>	125
51	DES FCFS penjadwalan giling skenario penurunan kapasitas	126
52	DES NSGA-II penjadwalan giling skenario penurunan kapasitas	127
53	DES FCFS penjadwalan giling skenario <i>overload</i> kedatangan	128
54	DES NSGA-II penjadwalan giling skenario <i>overload</i> kedatangan	128
55	DES FCFS penjadwalan giling skenario penyesuaian <i>shift</i>	129
56	DES NSGA-II penjadwalan giling skenario penyesuaian <i>shift</i>	129
57	Distribusi kedatangan per window tiga	131
58	Validasi komparasi distribusi kedatangan	131
59	Ringkasan metrik eksperimen penjadwalan giling	133

DAFTAR GAMBAR

1	Pohon industri tebu	5
2	Diagram skematik pertumbuhan tanaman tebu	7
3	Tebu varietas Bululawang	7
4	Sistem suplai pada agroindustri gula tebu	8
5	Prinsip <i>supervised learning</i>	10
6	Prinsip <i>non dominated sorting genetic algorithm II</i>	14
7	Kerangka pemikiran penelitian	16
8	Posisi penelitian	17
9	Tahapan penelitian	18
10	Lokasi riset	19
11	<i>Input</i> , proses, <i>output</i> desain model	20
12	Submodel monitoring pertumbuhan dan panen	21
13	Ilustrasi pengumpulan data citra satelit	22
14	Submodel optimasi terbang muat angkut giling	29
15	<i>Scrum agile model</i> pada sistem penunjang keputusan cerdas	37
16	Wilayah binaan Pabrik Gula Kebon Agung Malang	40
17	Model terbang muat angkut Pabrik Gula Kebon Agung	42
18	BPMN <i>as is</i> transformasi digital hulu agroindustri gula tebu	45
19	Diagram GORE transformasi digital hulu agroindustri gula tebu	52
20	BPMN <i>to be</i> transformasi digital hulu agroindustri gula tebu	54
21	Visualisasi UMAP 2D kelompok data A, B, C	55
22	Visualisasi UMAP 3D kelompok data A, B, C	56
23	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data A prediksi ketinggian tebu	57
24	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data B prediksi ketinggian tebu	57
25	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data C prediksi ketinggian tebu	58
26	Performa RF pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data A	61
27	Performa RF pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data B	61
28	Performa RF pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data C	62
29	Performa SVR pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data A	63



DAFTAR GAMBAR LANJUTAN

30	Performa SVR pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data B	64
31	Performa SVR pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data C	64
32	Performa XGB pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data A	66
33	Performa XGB pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data B	66
34	Performa XGB pada prediksi ketinggian tebu dengan kelompok data C	67
35	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data A prediksi produktivitas tebu	69
36	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data B prediksi produktivitas tebu	70
37	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data C prediksi produktivitas tebu	70
38	Performa RF pada prediksi produktivitas dengan kelompok data A	73
39	Performa RF pada prediksi produktivitas dengan kelompok data B	73
40	Performa RF pada prediksi produktivitas dengan kelompok data C	74
41	Performa SVR pada prediksi produktivitas dengan kelompok data A	76
42	Performa SVR pada prediksi produktivitas dengan kelompok data B	76
43	Performa SVR pada prediksi produktivitas dengan kelompok data C	77
44	Performa XGB pada prediksi produktivitas dengan kelompok data A	78
45	Performa XGB pada prediksi produktivitas dengan kelompok data B	79
46	Performa XGB pada prediksi produktivitas dengan kelompok data C	79
47	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data A prediksi °Brix tebu	81
48	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data B prediksi °Brix tebu	82
49	<i>Heatmap</i> korelasi fitur kelompok data C prediksi °Brix tebu	82
50	Performa RF pada prediksi °Brix dengan kelompok data A	84
51	Performa RF pada prediksi °Brix dengan kelompok data B	85
52	Performa RF pada prediksi °Brix dengan kelompok data C	85
53	Performa SVR pada prediksi °Brix dengan kelompok data A	87
54	Performa SVR pada prediksi °Brix dengan kelompok data B	87
55	Performa SVR pada prediksi °Brix dengan kelompok data C	88
56	Performa XGB pada prediksi °Brix dengan kelompok data A	89
57	Performa XGB pada prediksi °Brix dengan kelompok data B	90
58	Performa XGB pada prediksi °Brix dengan kelompok data C	90
59	Visualisasi <i>feature selection</i> prediksi susut transportasi	92
60	<i>Scatter plot</i> prediksi susut dan aktual transportasi	94
61	Visualisasi <i>feature selection</i> prediksi susut tunggu giling	95
62	<i>Scatter plot</i> prediksi susut dan aktual tunggu giling	96
63	Distribusi residual pada model prediksi susut	98
64	Analisis konvergensi optimasi rute pengiriman tebu	103
65	Pareto front solusi optimasi rute berbasis A) 3D tiga fungsi tujuan, B) 2D minimasi jarak dan minimasi susut, C) 2D minimasi waktu dan minimasi susut	105
66	Dinamika <i>S-Spacing</i> optimasi rute ketiga lahan	108
67	Rekomendasi rute optimal pada ketiga lahan	109
68	Simulasi dampak susut berdasarkan kelima skenario pada lahan tebu A) Kendalpayak, B) Bakalan, dan C) Jambearjo	110
69	Simulasi dampak jarak berdasarkan kelima skenario pada lahan tebu A) Kendalpayak, B) Bakalan, dan C) Jambearjo	111
70	Simulasi dampak waktu berdasarkan kelima skenario pada lahan tebu A) Kendalpayak, B) Bakalan, dan C) Jambearjo	111

DAFTAR GAMBAR LANJUTAN

71	Skalabilitas <i>input</i> optimasi rute muat angkut tebu	113
72	<i>Curse of dimensionality objectives</i> optimasi rute muat angkut tebu	115
73	Front Pareto pencarian solusi optimasi penjadwalan giling NSGA-II	119
74	Konvergensi pencarian solusi optimasi penjadwalan giling NSGA-II	120
75	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, dan D) akumulasi susut pada skenario normal	122
76	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, dan D) akumulasi susut skenario <i>maintenance</i>	124
77	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, dan D) akumulasi susut skenario <i>unloading delay</i>	125
78	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, D) akumulasi susut skenario penurunan kapasitas	127
79	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, D) akumulasi susut skenario <i>overload</i> kedatangan	128
80	Komparasi A) waktu tunggu akumulatif, B) waktu tunggu per truk, C) kedalaman antrian, D) akumulasi susut skenario penyesuaian <i>shift</i>	130
81	Skalabilitas <i>input</i> optimasi penjadwalan giling tebu	133
82	<i>Curse of dimensionality objectives</i> optimasi penjadwalan giling tebu	135
83	BDD digital hulu agroindustri gula tebu	136
84	IBD digital hulu agroindustri gula tebu	137
85	UCD sub sistem prediksi ketinggian	138
86	UCD sub sistem prediksi produktivitas	138
87	UCD sub sistem prediksi °Brix	139
88	UCD sub sistem prediksi susut transportasi	139
89	UCD sub sistem prediksi susut tunggu giling	140
90	UCD sub sistem optimasi rute	140
91	UCD sub sistem optimasi jadwal giling	141
92	<i>Block diagram</i> sistem penunjang keputusan hulu agroindustri gula	142
93	Fase transformasi digital	143
94	Kerangka domain transformasi digital	144
95	<i>Action fields of digital transformation</i>	145

DAFTAR LAMPIRAN

1	Detail lokasi lahan riset	170
2	Tipe data variabel submodel monitoring dan pertumbuhan panen	172
3	Tipe data variabel submodel optimasi tebang muat angkut giling	173
4	<i>Pseudocode</i> submodel monitoring pertumbuhan panen	174
5	<i>Pseudocode</i> submodel optimasi tebang muat angkut giling	176
6	<i>Pseudocode</i> integrasi seluruh submodel	179
7	Antar muka website sistem prediksi hulu agroindustri tebu	180
8	Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)	183
9	Dokumentasi lahan dan tebang muat angkut	184
10	Validasi model dan kinerja digitalisasi hulu agroindustri gula tebu	186
11	Validasi sistem penunjang keputusan cerdas hulu agroindustri gula tebu	188



DAFTAR ISTILAH

Daftar Istilah	Deskripsi
Agroindustri	Agroindustri adalah sistem terintegrasi yang menghubungkan kegiatan pertanian dengan proses pengolahan, distribusi, dan pemasaran untuk menciptakan nilai tambah. Sistem ini mencakup interaksi biologis, teknis, ekonomi, dan logistik dari hulu hingga hilir.
Artificial Intelligence	<i>Artificial Intelligence</i> adalah bidang ilmu yang mengembangkan sistem komputasi untuk meniru kemampuan kognitif manusia seperti pembelajaran, penalaran, dan pengambilan keputusan. Dalam agroindustri, AI digunakan untuk analisis prediktif, optimasi proses, dan otomatisasi sistem kompleks.
BDD	BDD (<i>Block Definition Diagram</i>) adalah diagram dalam SysML yang digunakan untuk mendefinisikan struktur sistem, blok, serta hubungan antar blok. Diagram ini menekankan komponen utama sistem tanpa detail aliran data atau perilaku internal.
BPMN	BPMN merupakan standar pemodelan proses bisnis yang menggambarkan alur aktivitas, keputusan, dan aktor dalam suatu sistem. BPMN digunakan untuk memvisualisasikan proses operasional secara jelas dan mudah dipahami lintas disiplin.
Brix	Brix adalah satuan yang menyatakan persentase total padatan terlarut, terutama gula, dalam larutan tebu. Nilai Brix digunakan sebagai indikator tingkat kematangan dan kualitas bahan baku tebu.
Digital	Digital merujuk pada representasi informasi dalam bentuk data diskret yang dapat diproses oleh sistem komputasi. Dalam konteks agroindustri, digital memungkinkan otomatisasi, integrasi data, dan analisis berbasis sistem informasi.
Deteorisasi	Deteorisasi adalah proses penurunan kualitas atau kuantitas bahan akibat faktor waktu, lingkungan, atau penanganan yang tidak optimal. Pada tebu, deteorisasi berdampak langsung pada kehilangan gula dan efisiensi pengolahan.
Derivatif	Derivatif adalah fitur atau parameter yang diperoleh dari transformasi matematis terhadap data asli. Dalam analisis data, derivatif digunakan untuk mengekstraksi informasi tambahan yang lebih representatif terhadap dinamika sistem.
Fusion	Fusion adalah proses penggabungan berbagai sumber data untuk menghasilkan informasi yang lebih komprehensif dan akurat. Data fusion umum digunakan dalam <i>remote sensing</i> dan sistem prediktif agroindustri.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Daftar Istilah	Deskripsi
<i>Forward Chaining</i>	<i>Forward chain</i> adalah strategi pemisahan data berbasis urutan waktu yang menjaga dependensi temporal antara data latih dan data uji. Pendekatan ini memastikan bahwa model hanya dilatih menggunakan data masa lalu untuk memprediksi data masa depan, sehingga mencegah kebocoran informasi (<i>data leakage</i>) pada sistem prediktif berbasis time series.
<i>Feature selection</i>	<i>Feature selection</i> adalah ukuran kontribusi relatif setiap variabel input terhadap kinerja model prediksi. Konsep ini digunakan untuk interpretabilitas model dan identifikasi faktor dominan dalam sistem.
<i>Gantt Chart</i>	<i>Gantt Chart</i> adalah alat visual untuk perencanaan dan pengendalian waktu proyek. Diagram ini menunjukkan urutan aktivitas, durasi, dan ketergantungan antar tugas.
GORE	GORE adalah pendekatan rekayasa kebutuhan yang berfokus pada tujuan sistem dan pemangku kepentingan. Metode ini membantu menghubungkan kebutuhan teknis dengan tujuan strategis.
Hilir	Hilir merupakan bagian akhir dari rantai nilai agroindustri yang mencakup distribusi, pemasaran, dan konsumsi produk. Efisiensi pada tahap hilir sangat menentukan nilai ekonomi akhir.
Hulu	Hulu adalah tahap awal rantai agroindustri yang meliputi budidaya, pemanenan, dan pengadaan bahan baku. Variabilitas pada tahap hulu sangat memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.
IBD	IBD (<i>Internal Block Diagram</i>) adalah diagram SysML yang menggambarkan interaksi internal antar komponen dalam suatu blok. Diagram ini menekankan aliran data, energi, atau material di dalam sistem.
Landsat 9	Landsat 9 ialah satelit <i>remote sensing</i> yang menyediakan data multispektral resolusi menengah untuk pemantauan permukaan bumi. Data Landsat digunakan untuk analisis vegetasi, tutupan lahan, dan dinamika lingkungan.
Machine Learning	Machine Learning adalah cabang AI yang memungkinkan sistem belajar dari data tanpa pemrograman eksplisit. Teknik ini digunakan untuk prediksi, klasifikasi, dan pola kompleks dalam sistem agroindustri.
Metaheuristik	Metaheuristik adalah pendekatan optimasi tingkat tinggi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah kompleks dan nonlinier. Metode ini tidak menjamin solusi optimal global, tetapi efektif untuk masalah multiobjektif berskala besar.
Multispektral	Multispektral mengacu pada data yang direkam pada beberapa panjang gelombang elektromagnetik. Data ini

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Daftar Istilah

Deskripsi

	memungkinkan analisis karakteristik fisik dan biologis objek di permukaan bumi.
NSGA-II	NSGA (<i>Non Dominated Sorting Genetic Algorithm</i>) II adalah algoritma optimasi evolusioner multiobjektif yang menggunakan konsep dominasi Pareto. Algoritma ini banyak digunakan untuk menyelesaikan konflik tujuan seperti biaya, waktu, dan emisi.
Optimasi	Optimasi adalah proses pencarian solusi terbaik berdasarkan satu atau lebih fungsi tujuan dengan batasan tertentu. Dalam agroindustri, optimasi digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem.
Produktivitas	Produktivitas adalah rasio antara output dan input yang digunakan. Indikator ini mencerminkan efisiensi teknis dan kinerja sistem produksi.
Radiometrik	Radiometrik berkaitan dengan pengukuran intensitas energi elektromagnetik yang direkam sensor. Koreksi radiometrik diperlukan untuk meningkatkan akurasi data <i>remote sensing</i> .
<i>Remote Sensing</i>	<i>Remote sensing</i> adalah teknik pengumpulan data permukaan bumi tanpa kontak langsung menggunakan sensor satelit atau udara. Teknologi ini memungkinkan pemantauan area luas secara periodik dan objektif.
RF	RF (<i>Random Forest</i>) adalah algoritma ensemble berbasis pohon keputusan yang meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi. Metode ini tahan terhadap overfitting dan cocok untuk data nonlinier.
<i>Scrum Agile</i>	<i>Scrum Agile</i> adalah kerangka kerja pengembangan sistem iteratif yang menekankan kolaborasi, adaptasi, dan pengiriman bertahap. Metode ini digunakan untuk pengembangan sistem digital yang dinamis.
Sentinel 2	Sentinel 2 adalah satelit <i>remote sensing</i> dengan resolusi temporal tinggi dan kanal spektral yang kaya. Satelit ini banyak digunakan untuk analisis vegetasi dan pertanian presisi.
Spasial	Spasial berkaitan dengan lokasi, distribusi, dan hubungan antar objek di ruang geografis. Analisis spasial penting dalam pemodelan pertanian dan logistik agroindustri.
<i>Stochastic</i>	<i>Stochastic</i> adalah sifat suatu sistem atau proses yang evolusinya dipengaruhi oleh variabel acak dan dideskripsikan menggunakan distribusi probabilitas. Dalam kerangka matematis, perilakunya tidak dapat ditentukan secara deterministik, melainkan hanya dapat diestimasi melalui pendekatan statistik dan teori probabilitas.
<i>Supervised Learning</i>	<i>Supervised learning</i> adalah metode machine learning yang menggunakan data berlabel untuk melatih model.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Daftar Istilah	Deskripsi
Susut °Brix	Teknik ini umum digunakan untuk prediksi kuantitatif dan klasifikasi kondisi. Susut °Brix adalah penurunan kadar padatan terlarut total dalam batang tebu, khususnya sukrosa, yang terjadi akibat penundaan pengangkutan, degradasi biologis, atau penanganan pascapanen yang tidak ideal. Fenomena ini berdampak langsung pada kualitas bahan baku yang diterima pabrik, rendemen yang dihasilkan, dan efisiensi proses penggilingan secara keseluruhan.
SVR	SVR (<i>Support Vector Regression</i>) adalah metode regresi berbasis margin maksimum yang efektif untuk data nonlinier. Algoritma ini mampu menghasilkan prediksi stabil pada data berdimensi tinggi.
SysML	SysML (<i>System Modelling Language</i>) adalah bahasa pemodelan sistem yang digunakan untuk mendeskripsikan struktur, perilaku, dan kebutuhan sistem kompleks. Bahasa ini banyak digunakan dalam rekayasa sistem dan integrasi teknologi.
Tebu	Tebu adalah tanaman sumber utama produksi gula yang memiliki karakteristik biologis sensitif terhadap waktu panen dan penanganan. Kualitas tebu sangat menentukan kinerja agroindustri gula.
Tebang Muat Angkut	Tebang muat angkut adalah rangkaian aktivitas pemanenan, pemuatan, dan pengangkutan tebu dari lahan ke pabrik. Efisiensi tebang muat angkut berpengaruh terhadap susut gula dan kontinuitas.
Temporal	Temporal berkaitan dengan dimensi waktu dan perubahan dinamis yang terjadi pada suatu sistem. Analisis temporal penting untuk memahami pola musiman dan degradasi kualitas.
Transformasi Digital	Transformasi digital adalah proses integrasi teknologi digital ke dalam seluruh aspek operasional dan pengambilan keputusan. Tujuannya adalah peningkatan nilai dan kapabilitas sistem.
UCD	UCD (<i>Use Case Diagram</i>) adalah diagram UML yang digunakan untuk memodelkan interaksi antara aktor dan fungsi sistem pada tingkat fungsional. Diagram ini menggambarkan layanan utama sistem tanpa merepresentasikan alur proses internal atau detail implementasi teknis.
XGB	XGB (<i>Extreme Gradient Boosting</i>) adalah algoritma boosting berbasis pohon yang mengoptimalkan fungsi objektif secara iteratif. Metode ini dikenal memiliki akurasi tinggi dan efisiensi komputasi yang baik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.