

TRANSFORMASI 4.0 INDUSTRI NIKEL

Roberth M. Ratlalan
Odilia Valentine

TRANSFORMASI 4.0 INDUSTRI NIKEL

**Roberth M. Ratlalan
Odilia Valentine**



GETPRESS INDONESIA

TRANSFORMASI 4.0
INDUSTRI NIKEL

Penulis : Roberth M. Ratlalan
Odilia Valentine

ISBN : 978-623-125-720-8

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, April 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul Transformasi 4.0 Industri Nikel ini dapat diselesaikan. Buku ini hadir sebagai bentuk respons terhadap perkembangan teknologi dan tuntutan global yang mendorong industri untuk bertransformasi menuju era digital.

Transformasi 4.0 industri Nikel menjadi sebuah keniscayaan di tengah revolusi industri keempat, yang ditandai dengan integrasi teknologi canggih. Dalam konteks ini, industri nikel menghadapi tantangan sekaligus peluang untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan. Buku ini dirancang untuk memberikan panduan bagi akademisi, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam memahami dan mengimplementasikan transformasi teknologi.

Isi buku ini mencakup pembahasan tentang dasar industri 4.0, strategi pengembangan transformasi industri 4.0, industri nikel, dan transformasi 4.0 industri nikel. Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat dalam mendukung pengembangan industri nikel di Indonesia, yang memiliki potensi besar untuk menjadi salah satu pemain utama dalam rantai pasok global.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi semua pembaca yang berkomitmen untuk membawa industri nikel menuju masa depan yang lebih cemerlang dan berkelanjutan.

Jakarta, Maret 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
BAB 1 DASAR INDUSTRI 4.0	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Model Arsitektur Referensi Industri 4.0	2
1.3 Arsitektur Referensi Internet Industri.....	5
1.4 Perspektif Implementasi 4.0	7
BAB 2 STRATEGI PENGEMBANGAN INDUSTRI 4.0	11
2.1 Strategi dan Pengembangan	11
2.2 Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0	12
2.3 Indonesia Industry 4.0 Readiness Index.....	13
2.4 Strategi Implementasi Toolbox Industry 4.0.....	16
BAB 3 INDUSTRI NIKEL.....	21
3.1 Industri Nikel	21
3.2 Pengolahan Bijih Nikel	22
3.3 Bisnis Proses Industri Smelter Nikel	23
3.4 Alur Proses Permunian Nikel	28
BAB 4 TRANSFORMASI 4.0 INDUSTRI NIKEL	36
4.1 Transformasi Industri 4.0	36
4.2 <i>Smart Manufacturing</i> Industri 4.0	39
4.3 Transformasi Digitalisasi Industri Nikel	42
DAFTAR PUSTAKA.....	51
BIODATA PENULIS.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Model Arsitektur Referensi Industri 4.0	3
Gambar 1. 2. Dimensi Hirarki RAMI 4.0	4
Gambar 1. 3. Arsitektur Referensi Internet Industri	5
Gambar 1. 4. Pola Arsitektur Tier	8
Gambar 1. 5. Pola <i>Gateway-Mediated-Edge Connectivity</i>	9
Gambar 1. 6. Arsitektur Databus Berlapis.....	10
Gambar 2. 1. Konsep Industri 4.0.....	12
Gambar 2. 2. Model Pengukuran Implementasi Industri 4.0	13
Gambar 2. 3. INDI 4.0.....	14
Gambar 2. 4. Tahapan Penerapan <i>Guideline</i> Industri 4.0 (VDMA)	17
Gambar 2. 5. Analisis Kemampuan Produk (VDMA).....	18
Gambar 2. 6. Model Bisnis St. Gallen Untuk Produk dan Produksi	19
Gambar 2. 7. BCG Matriks	19
Gambar 2. 8. <i>Tool Box</i> 4.0	20
Gambar 3. 1. Proses <i>Rotary Kiln Electric Furnace</i> (RKEF).....	24
Gambar 3. 2. Prinsip <i>Electrostatic Precipitator</i> (ESP)	26
Gambar 3. 3. Bisnis Proses Industri Nikel	27
Gambar 3. 4. Proses <i>High Pressure Acid Leach</i> (HPAL)	28
Gambar 3. 5. Alur Proses Pemurnian Biji Nikel	29
Gambar 3. 6. Ore (Biji Nikel).....	30
Gambar 3. 7. Proses Pengeringan (Drying)	31
Gambar 3. 8. Reduction Kiln	32
Gambar 3. 9. Peleburan (smelting)	33
Gambar 3. 10. Proses Granulasi (<i>Granulating</i>)	35
Gambar 4. 1. Peran Fisik Ke Digital Industri 4.0.....	38
Gambar 4. 2. <i>Smart Manufacturing</i> Industri 4.0	40

Gambar 4. 3. Teknologi Industri Nikel.....	43
Gambar 4. 4. Proses Simulasi dan GA.....	44
Gambar 4. 5. <i>Distributed Control Sistem</i> (DCS)	46
Gambar 4. 6. <i>Programmable Logic Controller</i> (PLC).....	47
Gambar 4. 7. Simulator Proses Permunian	48
Gambar 4. 8. <i>Elektrik Furnace</i> Menggunakan Display HMI	49
Gambar 4. 9. <i>ESP Control System</i>	50

BAB 1

DASAR INDUSTRI 4.0

1.1 Latar Belakang

Saat ini kita berada di era revolusi industri 4.0, di mana ide-ide tentang otomatisasi yang dilakukan oleh mesin dapat digunakan tanpa bantuan manusia. Di mana hal-hal ini sangat penting bagi para pelaku industri untuk menghemat waktu, tenaga kerja, dan biaya. Istilah "Pabrik Pintar" mengacu pada penggunaan Revolusi Industri 4.0 di pabrik modern. Selain itu, pengambilan dan pertukaran data saat ini dapat dilakukan secara instan melalui jaringan internet, sehingga pihak yang berkepentingan dapat memotorisasi proses pembukuan dan produksi di pabrik kapan saja dan di mana saja mereka berada dengan koneksi internet.

Jika kita melihat kembali Revolusi Industri 3.0, itu adalah awal era digital, yang memulai inovasi elektronik dan TI. Ada perdebatan apakah revolusi industri 4.0 harus disebut sebagai revolusi atau hanya pengembangan dari revolusi industri 3.0. Namun, ada perkembangan yang signifikan dari revolusi 3.0 ke revolusi 4.0, yang menghasilkan penemuan baru yang belum pernah terjadi sebelumnya. Para ahli meyakini bahwa ini adalah era revolusi industri 4.0 karena banyaknya inovasi baru yang dibuat di dalam industri 4.0.

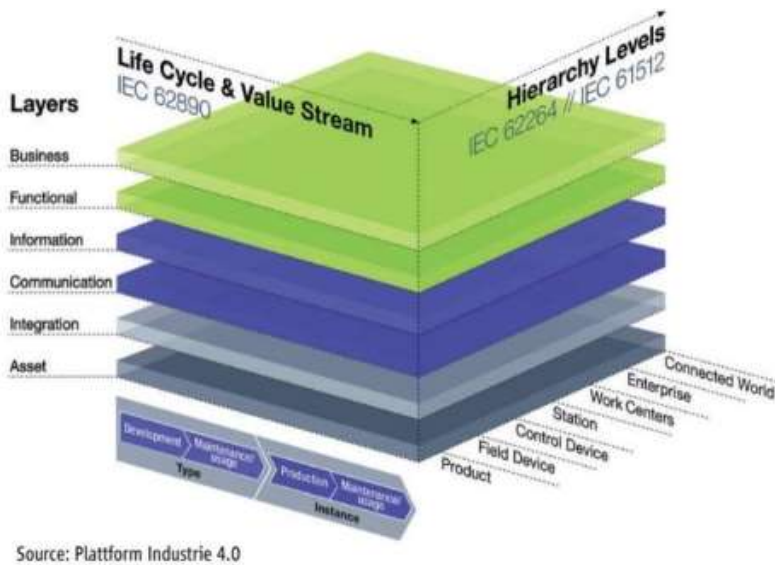
Memanfaatkan jaringan internet, Internet of Things memiliki kemampuan untuk menghubungkan dan memudahkan proses komunikasi antara mesin, perangkat, sensor, dan manusia. Sebagai contoh kecil, sebelum Revolusi Industri 3.0, kita hanya dapat mentransfer uang melalui ATM atau teller bank. Sekarang, kita dapat melakukannya di mana saja dan kapan saja yang terhubung ke internet. Kita dapat mengawasi aktifitas keuangan kita kapan saja dan di mana saja dengan aplikasi di dalam perangkat kita dan koneksi internet.

Salah satu istilah penting dalam Revolusi Industri 4.0 adalah "Big Data", yang merujuk pada semua data yang tersimpan di cloud computing. Analitik data besar dan komputasi awan akan membantu menemukan cacat dan kegagalan produksi sejak awal, yang memungkinkan untuk mencegah atau meningkatkan produktivitas dan kualitas produk berdasarkan data yang terekam. Proses ini dapat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi mereka yang bekerja di pabrik. Data diproses untuk menghasilkan informasi yang logis menggunakan alat canggih, seperti analitik dan algoritma.

1.2 Model Arsitektur Referensi Industri 4.0

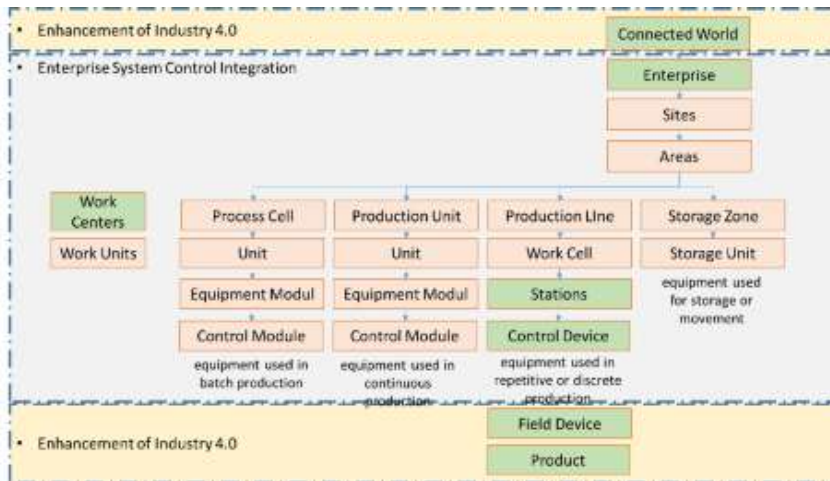
Di Negara Eropa, tepatnya pada perusahaan Bitkom yang bergerak dalam bidang teknologi informasi, *Verband Deutscher Maschinen-und Anlagenbau* (VDMA) yang bergerak di bidang mekanikal, dan *Zentralverband Elektrotechnik* (ZVEI) yang bergerak dalam bidang elektronik telah menyepakati suatu standar dalam menerapkan teknologi Industri 4.0. Standar ini telah diluncurkan di tahun 2015 dan

dikenal dengan nama Model Arsitektur Referensi Industri 4.0, atau RAMI (*Reference Architecture Model for Industry*) 4.0. Model ini terdiri dari tiga dimensi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Model Arsitektur Referensi Industri 4.0

Dalam hirarkinya, ada tujuh level dimensi yang menggabungkan arsitektur pengaturan manufaktur ISA-95 yaitu terhubung ke dunia, perusahaan, pusat kerja, stasiun atau mesin, perangkat pengatur (kontroler), perangkat lapangan (sensor dan aktuator), dan produk.

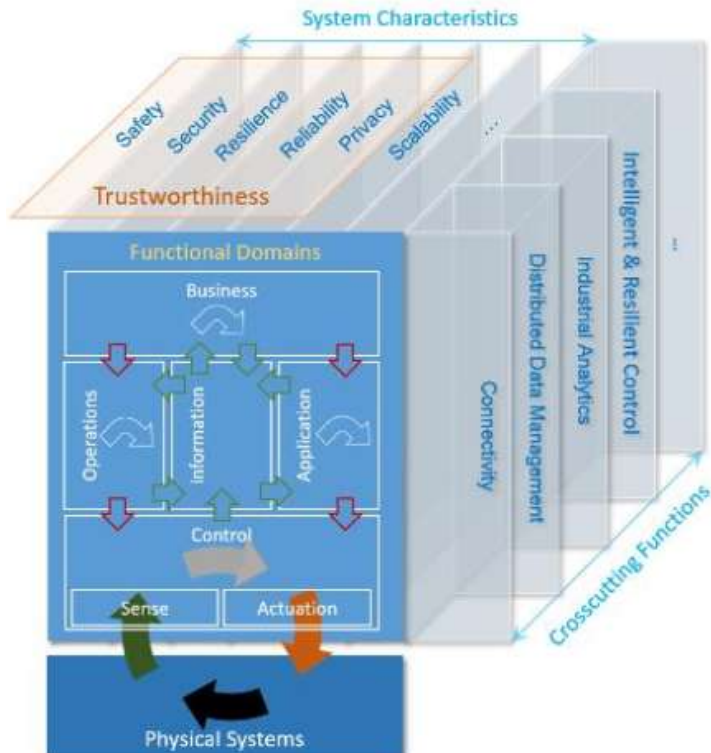


Gambar 1. 2. Dimensi Hirarki RAMI 4.0

Di setiap fase daur hidup dan rantai nilai terdapat beragam pembagian fungsi dengan beragam pemangku kepentingan dimana prosesnya ditunjukkan oleh dimensi *Lifecycle* and *Value Stream*. Bisnis dapat menghasilkan arus nilai melalui digitalisasi data sepenuhnya dan segera. Gambar 1.3 menunjukkan dimensi ini. Jenis dan contoh adalah dua komponen dimensi ini. Saat produk muncul di tahap pengembangan, tipe dibuat dari ide awal, dengan kata lain. Arahkan untuk menghasilkan produk baru, melakukan pengujian sampel hingga melaksanakan uji coba produksi adalah tahapan awal dari tahap proses pengembangan. Saat ini, jenis produk, mesin, dan perangkat lainnya dibuat. Tipe akhirnya dikirim untuk diproduksi setelah melalui pengujian dan validasi.

1.3 Arsitektur Referensi Internet Industri

Gabungan pemimpin dari *Smart Manufacturing* (SMC) yang berada di Negara Amerika Serikat juga melakukan upaya yang sama. Arsitektur referensi internet industri atau *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA) yang pertama kali dipublikasikan pada tahun 2015 merupakan hasil konsolidasi organisasi ini. Dan kemudian mengalami perkembangan pada tahun 2019, yakni IIRA versi 9, yang dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut:



Gambar 1. 3. Arsitektur Referensi Internet Industri

Arsitektur Referensi Internet Industri terdiri dari tiga komponen: (1) Daerah Fungsional; (2) Fungsi Crosscutting; dan (3) Ciri Sistem. Sensor dan aktuator berfungsi untuk menghubungkan ketiga komponen ini dengan sistem fisik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.

1. Domain Fungsional: bekerja dalam mendukung suatu operasi bisnis agar sistem IoT Industri (IIoT) dapat menjalankan operasi sistem dari awal hingga akhir proses. Contoh fungsi bisnis ini termasuk perencanaan sumber daya perusahaan (ERP), manajemen hubungan pelanggan (CRM), manajemen jangka waktu produk (PLM), sistem pelaksanaan manufaktur (MES), perencanaan sumber daya manusia (HRM), manajemen aset, manufaktur, dan Pendjadwalan.
2. Fungsi *Crosscutting*: fungsi yang bersifat lintas organisasi, yang berarti bahwa semua aspek operasi bisnis harus terhubung satu sama lain. Fungsi *crosscutting* ini adalah fungsi pertama. Aplikasi untuk menganalisis data yang dikumpulkan dari aset industri dan sistem pengaturan untuk memperoleh pemahaman mendalam (*insight*) tentang setiap kasus menjadi komponen berikutnya dari penggunaan internet industri. Dari pandangan ini, fungsi *crosscutting* kedua membutuhkan upaya pengelolaan data yang terkelola agar dapat berjalan optimal.
3. Ciri-ciri Sistem: Setiap komponen sistem harus memiliki fungsi keamanan untuk menjaga sistem aman, seperti enkripsi (enkripsi) dan pengujian identitas (pengujian identitas). Bagaimana komponen fungsi ini berinteraksi dan bekerja secara terintegrasi

menentukan keamanan seluruh sistem. Keselamatan dan kemampuan pemulihan setelah gangguan juga merupakan hal yang penting untuk sebuah sistem. Secara umum, "*trustworthiness*" adalah cara untuk mengukur karakteristik sistem.

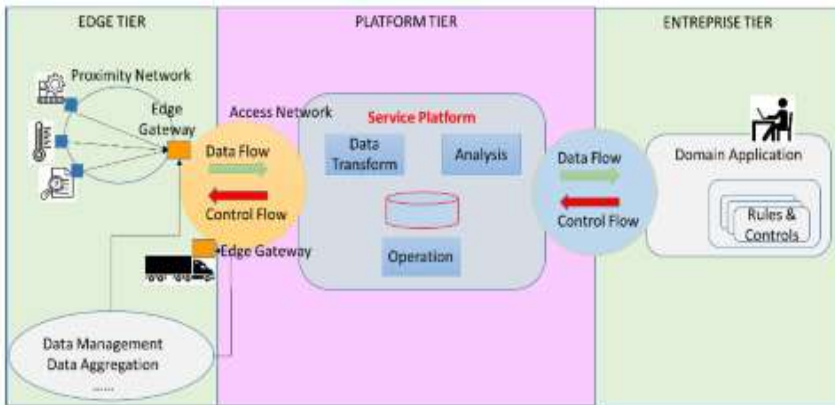
1.4 Perspektif Implementasi 4.0

Untuk memungkinkan sistem industrial internet of things (IIoT) untuk melaksanakan semua fiturnya, diperlukan kerangka kerja. Desain dan teknologi IoT dipengaruhi oleh perspektif bisnis seperti biaya, waktu sampai penjualan, strategi bisnis untuk target pasar, aturan yang sesuai, dan estimasi kemajuan suatu teknologi. Oleh karena itu, pandangan untuk proses implementasi dapat terbagi dalam hal-hal berikut yaitu [1] Model sistem IIoT secara umum, termasuk pola dan penyebaran komponen, serta karakteristik yang mengatur bagaimana sistem tersebut terhubung; [2] Penjelasan teknis dari suatu komponen, termasuk tampilan, aturan sistem, perilaku, dan fitur lainnya; [3] Skema implementasi dari kegiatan yang teridentifikasi karena penggunaan komponen fungsional ke komponen implementasi; dan [4] Skema implementasi dari aplikasi yang teridentifikasi karena penggunaan komponen fungsional ke komponen implementasi.

Produsen dapat menyediakan berbagai macam arsitektur implementasi, tetapi mereka umumnya terbagi menjadi beberapa pola.

1. **Pola Tiga Tier** memiliki tiga jenis pola yaitu pola tier edge, pola tier platform, dan pola tier enterprise; ketiga jenis pola ini bertanggung jawab secara penuh

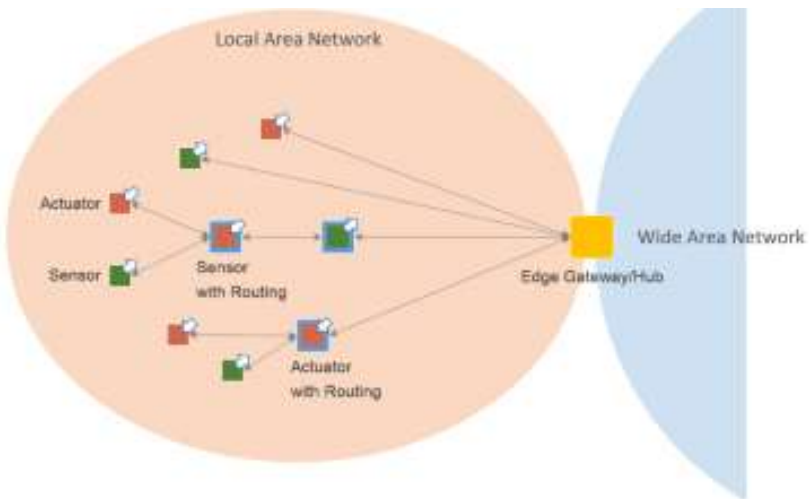
dalam hal mengelola aliran data dan aliran sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1. 4. Pola Arsitektur Tier

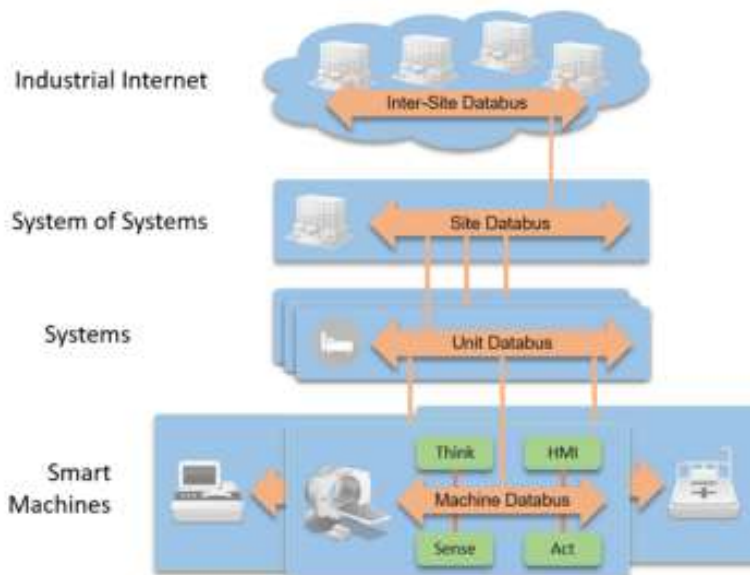
2. **Edge Tier** memiliki fungsi untuk mengabungkan data melalui *proximity network* dari simpul tepi, atau *edge nodes*. Ciri khas dari arsitektural tier ini bergantung pada penggunaannya, seperti karakteristik alami jaringan dekat, cakupan distribusi, lokasi, dan administrasi.
3. **The platform tier** untuk menerima, mengolah, dan meneruskan perintah dari perusahaan tier ke tier edge, serta mengkonsolidasi dan menganalisis aliran data dari tier edge dan tier lainnya. Selain itu, fungsi-fungsi manajemen difasilitasi dengan peralatan, atau alat, dan aset di tier ini. Tier ini menyediakan layanan yang khusus untuk domain ini, seperti permintaan data dan analisis data.

4. ***The enterprise tier*** bertanggung jawab untuk melaksanakan aplikasi tertentu yang berkaitan dengan domain tertentu; mereka juga bertanggung jawab untuk menyediakan sistem pendukung keputusan (*decision support systems*) dan menyediakan antarmuka untuk pengguna akhir, termasuk para spesialis operasi.
5. ***Pola Gateway - Mediated - Edge Connectivity and Management***. Untuk pola ini meliputi penyelesaian untuk integrasi antara tepi sistem IIoT dengan gateway yang menjembatani local area network (LAN) dengan "wide area network (WAN)," seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1. 5. Pola *Gateway-Mediated-Edge Connectivity*

6. **Pola Databus Berlapis.** Dalam sistem IoT sebuah industri banyak menggunakan pola ini. Arsitektur dari pola ini memungkinkan terjalinnya komunikasi data dengan jeda waktu yang rendah dan aman di sepanjang lapisan logika sistem. Pengelolaan interaksi sistem secara langsung di lapangan merupakan arsitektur yang sangat berguna yang ditunjukkan pada Gambar 1.6.



Gambar 1. 6. Arsitektur Databus Berlapis

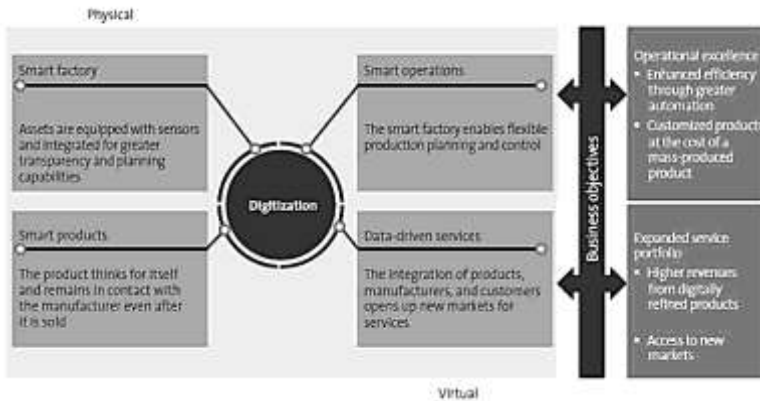
BAB 2

STRATEGI PENGEMBANGAN INDUSTRI 4.0

2.1 Strategi dan Pengembangan

Industri 4.0 memiliki kemampuan luar biasa untuk mendorong perubahan kebijakan dan mengubah banyak aspek hidup manusia. Untuk itu, Indonesia harus mempersiapkan diri untuk mengambil peluang di era digital untuk mendorong pertumbuhan ekonominya. Memasuki satu tahun dari pelaksanaan peta jalan Making Indonesia 4.0, pemerintah telah melakukan sejumlah inisiatif yang tercakup dalam sepuluh strategi prioritas nasional.

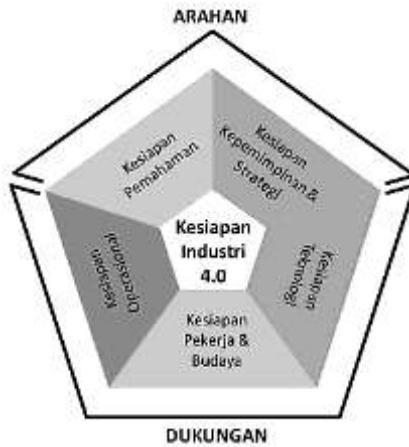
Sejak awal, industri 4.0 telah menghasilkan hasil yang menjanjikan, seperti waktu peluncuran produk baru yang lebih cepat, respons pelanggan yang lebih baik, keamanan dan fleksibilitas lingkungan kerja, kemampuan untuk menyesuaikan produksi massal tanpa biaya yang signifikan, dan penggunaan bahan baku dan energi yang lebih efisien.



Gambar 2. 1. Konsep Industri 4.0

2.2 Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0

Agar tetap praktis, model pengukuran kesiapan industri 4.0 harus mudah digunakan untuk berbagai jenis dan skala perusahaan manufaktur. Dalam model pengukuran kesiapan Industri 4.0, dua aspek utama digunakan : aspek "Pengetahuan" dan aspek "Kemampuan Sumber Daya". Dimensi "Pengetahuan" terdiri dari dimensi "Pemahaman Industri 4.0" dan "Kepemimpinan dan Strategi", dan dimensi "Kemampuan Sumber Daya" terdiri dari dimensi "Teknologi", "Proses", dan "Pekerja dan Budaya" Model untuk mengukur kesiapan industri 4.0 ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Model Pengukuran Implementasi Industri 4.0

2.3 Indonesia Industry 4.0 Readiness Index

Kemenperin telah membuat Indonesia Industry 4.0 Readiness Index (INDI 4.0) sebagai bagian dari pelaksanaan peta jalan Making Indonesia 4.0. Indeks ini bertujuan untuk mengukur tingkat kesiapan industri untuk menerapkan teknologi industri 4.0. Indeks Indonesia Industri (INDI 4.0) dibuat khusus untuk kondisi industri Indonesia. Oleh karena itu, INDI 4.0 memiliki fitur unik, seperti penilaian individu dan budaya. Strukturnya terdiri dari lima pilar utama, yang digunakan untuk menilai kesiapan suatu perusahaan dalam menerapkan teknologi 4.0. Selanjutnya, lima pilar utama ini dikembangkan menjadi tujuh belas bidang. Hal ini diterapkan karena dianggap penting untuk mendukung transformasi industri menuju 4.0, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3. INDI 4.0

1. **Manajemen dan organisasi** Pada pilar ini, kebijakan pimpinan perusahaan untuk mengubah pabriknya ke Industri 4.0 akan diukur. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar dukungan manajemen untuk meningkatkan efisiensi sistem produksi dengan Industri 4.0. Ini karena strategi bisnis, investasi, dan dukungan manajemen sangat penting untuk keberhasilan transformasi ke Industri 4.0.
2. **Orang dan budaya Dalam proses transformasi bisnis ke Industri 4.0, pengaruh manusia sangatlah penting** seperti budaya karyawan, yaitu kedisiplinan, keinginan untuk terus belajar, dan kearifan lokal. Jika seorang karyawan memiliki kemauan untuk terbuka terhadap suatu perubahan maka proses adaptasi perusahaan tersebut untuk beralih ke dunia industri 4.0 akan semakin mudah dan

sebaliknya jika karyawan bersikap resisten terhadap perubahan maka perusahaan akan mengalami kesulitan dalam proses implementasi Industri 4.0.

3. **Produk dan layanan Beberapa fitur teknologi 4.0 hasil dari proses integrasi suatu produk**, seperti konektivitas internet, penyimpanan data (RFID, barcode, dll.), dan dapat disesuaikan sesuai keinginan pengguna. Sementara layanan pintar berbasis data menunjukkan bahwa bisnis sudah mulai menggunakan teknologi Industri 4.0, penggunaan data pelanggan dalam pengembangan sistem pelayanan dan produk juga merupakan komponen yang diukur untuk menentukan kesiapan perusahaan untuk memasuki era Industri 4.0.
4. **Teknologi** Berbagai teknologi termasuk kecerdasan buatan, kolaborasi robot, printer 3D, dan augmented reality. Adanya konektivitas antar mesin dan antar sistem (integrasi vertikal dan horizontal) adalah syarat industri 4.0. Dalam pilar ini, sejauh mana penggunaan teknologi yang mendukung industri 4.0 akan dievaluasi untuk mengukur kesiapan perusahaan untuk beralih ke industri 4.0. Adanya digitalisasi dalam seluruh sistem produksi dan keamanan cyber perusahaan adalah komponen lain yang penting dalam pilar ini.
5. **Operasi pabrik** Pilar ini terkait erat dengan penggunaan teknologi dalam operasi pabrik. Ini termasuk sistem logistik perusahaan dan rantai pasokan, penggunaan sistem perawatan mesin dan sistem yang cerdas, proses produksi yang otonom dan

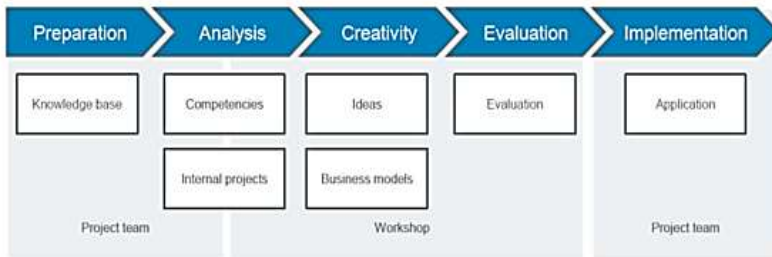
otomatis, dan sistem penyimpanan dan pengendalian data yang sudah terpusat.

2.4 Strategi Implementasi Toolbox Industry 4.0

Untuk membantu industri kecil dan menengah Jerman, Verband Deutscher Maschinen - und Anlagenbau e. V. (VDMA) membuat pedoman untuk strategi implementasi industri 4.0. Pedoman ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi produk dan proses produksi untuk industri 4.0, dan masing-masing industri dapat mengembangkan ide spesifik sesuai bidang industrinya. Metode untuk menerapkan pedoman ini adalah sebagai berikut :

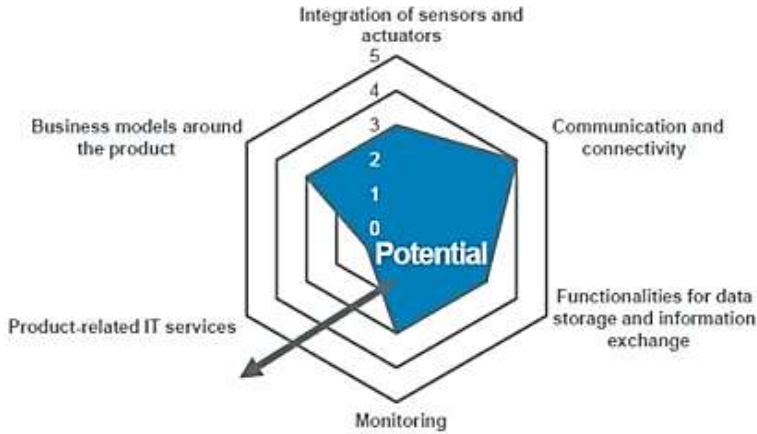
1. Komitmen *top management*, Komitmen manajemen tinggi untuk menerapkan industri 4.0 sangat penting karena pendekatan industri 4.0 akan mengubah model bisnis secara substansial.
2. Membangun tim proyek. Tim ini terdiri dari karyawan dari divisi produksi dan pengembangan serta dari divisi TI. Sangat penting untuk menerapkan konsep industri 4.0 karena memerlukan kerja sama dan jaringan yang kuat antara insinyur dan teknologi informasi.
3. Penggunaan kotak alat industri 4.0: kotak alat industri 4.0 mencakup berbagai tingkat penerapan inovasi produk dan produksi yang berkaitan dengan aspek teknik. Selama implementasi industri 4.0, ada lima tahapan teknologi dan pengembangan. Toolbox industri 4.0 dapat digunakan sebagai titik awal untuk mengkategorikan keahlian suatu industri dan sebagai basis untuk mengembangkan berbagai ide baru.

Secara garis besar tahapan selanjutnya dalam penerapan guideline Industri 4.0 (VDMA) dapat dilihat pada skema gambar berikut :



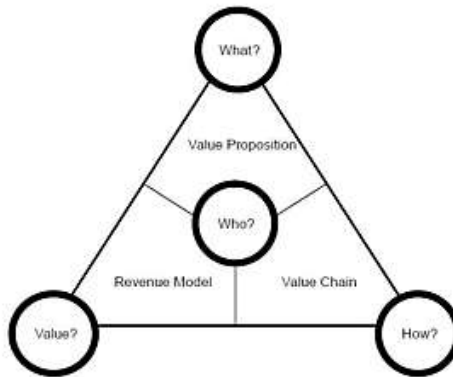
Gambar 2. 4. Tahapan Penerapan *Guideline* Industri 4.0 (VDMA)

1. Fase persiapan (*Preparation Phase*), mengetahui pasar yang sesuai atau salah satu produksi perusahaan sebagai titik awal untuk mengeksplorasi berbagai ide produk dan meningkatkan produksi.
2. Fase analisis (*Analysis phase*), mengidentifikasi kemampuan perusahaan dalam teknologi industri 4.0. Posisi pasar dan kemampuan perusahaan dirangking selama fase ini. Rangking ini kemudian dihadapkan pada kritik dari pihak luar perusahaan. Dilakukan analisis kompetensi keahlian produk dan produksi perusahaan. Untuk hal ini, kotak alat dapat digunakan. Hasil analisis ini berfungsi sebagai titik awal untuk pengembangan ide. Hasil analisis dapat digambarkan dalam diagram, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



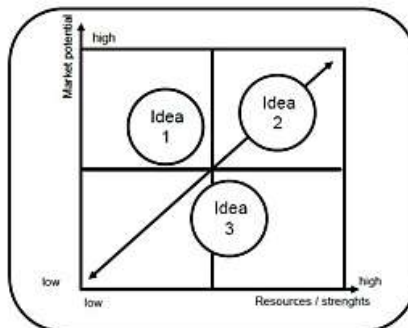
Gambar 2. 5. Analisis Kemampuan Produk (VDMA)

3. Fase kreativitas (*Creativity phase*), Fase ini bertujuan untuk menggabungkan ide-ide yang berbeda untuk model bisnis yang berbeda dan mengembangkan ide-ide baru. Proses ini terdiri dari dua tahap. Pertama, tim menemukan dan mengumpulkan gagasan awal tentang bagaimana model kano dapat digunakan untuk tujuan tersebut. Tahap kedua melibatkan diskusi dan pengembangan lebih lanjut dari gagasan tersebut. Pada tahap terakhir, berbagai model bisnis industri 4.0 dikembangkan menjadi ide. Model bisnis St. Gallen dapat digunakan untuk menganalisis ide dengan prioritas tertinggi.



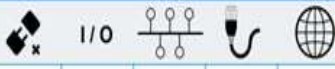
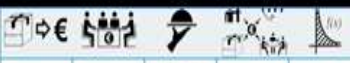
Gambar 2. 6. Model Bisnis St. Gallen Untuk Produk dan Produksi

4. Fase evaluasi (*Evaluation phase*), Fase ini bertujuan untuk mengevaluasi berbagai ide yang telah dibahas sebelumnya. Saat implementasi BCG matrix dapat digunakan untuk mengevaluasi, tim diminta untuk mengklasifikasikan konsep dari berbagai model bisnis sesuai dengan sumber daya yang dibutuhkan dan dihubungkan dengan potensi market atau potensi produksi.



Gambar 2. 7. BCG Matriks

5. Fase implementasi (*Implementation phase*), Tim proyek mengembangkan berbagai ide dan mempersiapkan mereka untuk dievaluasi dan disampaikan kepada manajemen pabrik.

Toolbox Industry 4.0						Industrie 4.0	
							
Products							
Integration of sensors / actuators						Integration of Sensors / Actuators	Level
	No use of sensors / actuators	Sensors / actuators are integrated	Sensor readings are processed by the product	Data is evaluated for analysis by the product	The product independently responds based on the gained data	5. The Product independently responds based on the gained data	4
Communication / Connectivity						Communication / Connectivity	Level
	The product has no interface	The product sends or receives I/O signals	The product has fixed I/O interface	The product has industrial Ethernet interface	The product has access to the internet	5. The product access to the internet	4
Functionalities for data storage and information exchange						Functionalities for data storage and Information Exchange	Level
	No functionalities	Possibility of individual identification	Product has a secure data store	Product with data storage to support information exchange	Data and information exchange as integral part	5. Data and information exchange as integral part	4
Monitoring						Monitoring	Level
	No monitoring by the product	Detection of failures	Recording of operating conditions for diagnostic purposes	Prognosis of its own functional condition	Independently adopted control measures	5. Independently adopted control measures	4
Product-related IT services						Product-related IT Services	Level
	No services	Services via online portal	Service assistance directly via the product	Independently performed services	Complete integration into an infrastructure of IT services	5. Complete integration into an infrastructure of IT service	4
Business models around the product						Business Models Around the Product	Level
	Earning profits from selling standardized products	Sales and marketing regarding the product	Sales, consulting and integration of the product in new business contributions	Additional sale of product-related services	Sale of product functions	5. Sale of product functions	4

Gambar 2. 8. Tool Box 4.0

BAB 3

INDUSTRI NIKEL

3.1 Industri Nikel

Terutama sebagai salah satu sektor unggulan dalam pengembangan sumber daya mineral, industri nikel memainkan peran penting dalam ekonomi Indonesia. Indonesia adalah produsen nikel terbesar di dunia, dengan cadangan bijih nikel yang besar, terutama laterit. Karena peran pentingnya dalam baterai kendaraan listrik dan teknologi energi terbarukan lainnya, industri nikel juga memainkan peran penting dalam mendukung transisi energi bersih. Industri ini tidak hanya menghasilkan keuntungan ekonomi, tetapi juga membuka peluang besar untuk menciptakan lapangan kerja, meningkatkan daya saing Indonesia di pasar internasional, dan mendorong pembangunan infrastruktur di wilayah yang menghasilkan nikel. Untuk memastikan industri ini memberikan manfaat jangka panjang tanpa merusak ekosistem, diperlukan perhatian serius terhadap tantangan pengelolaan lingkungan dan keberlanjutan sumber daya.

Keunggulan nikel, seperti ketahanan terhadap korosi dan kekuatan yang tinggi, membuatnya bahan penting dalam berbagai industri, seperti industri baja nirkarat, baterai kendaraan listrik, elektronik, dan infrastruktur energi terbarukan. Indonesia memiliki cadangan nikel yang besar, terutama bijih laterit, dan merupakan salah satu produsen

nikel terbesar di dunia. Permintaan global untuk nikel, kebijakan hilirisasi mineral, dan upaya pemerintah untuk menghasilkan lebih banyak uang melalui pembangunan fasilitas smelter adalah semua faktor yang mendorong pertumbuhan industri nikel di Indonesia. Selain itu, kebutuhan nikel sebagai bahan utama dalam teknologi baterai lithium-ion telah meningkat sebagai akibat dari transisi menuju ekonomi rendah karbon. Namun, dampak lingkungan, keberlanjutan sumber daya, dan kemajuan teknologi adalah masalah yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan industri nikel yang berkelanjutan.

Logam berwarna perak yang tahan karat, kuat, dan dapat ditempa adalah bahan penting dalam berbagai aplikasi industri. Nilin memiliki simbol kimia Ni dan nomor atom 28 dan merupakan salah satu elemen transisi dalam tabel periodik. Logam ini sangat penting untuk pembuatan baja nirkarat, superalloy, dan baterai lithium-ion yang digunakan pada kendaraan listrik karena kemampuannya yang unik. Dalam industri energi terbarukan, nikel digunakan untuk membuat turbin angin dan panel surya.

3.2 Pengolahan Bijih Nikel

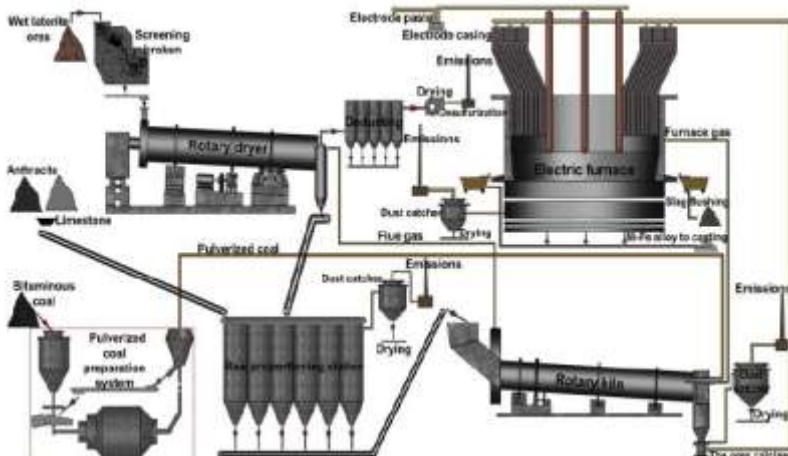
Terdapat beberapa metode ekstraksi bijih nikel laterit secara pirometalurgi yang menghasilkan produk berupa ferronikel, termasuk proses Krupp-Renn, proses peleburan Blast Furnace (BF), dan oven listrik rotasi. Proses ekstraksi bijih nikel laterit secara pirometalurgi memberikan bahan baku yang lebih murah daripada nikel elektrolisis untuk pembuatan baja tahan karat, yang banyak digunakan dalam industri, terutama industri manufaktur.

Rotary Kiln Electric Furnace (RKEF) adalah salah satu metode ekstraksi pirometalurgi yang paling umum digunakan untuk menghasilkan ferronikel. Proses ini menggunakan bijih nikel saprolitik sebagai bahan baku dan menghasilkan produk berwarna perak metalik yang terbuat dari campuran besi dan nikel sebagai komponen utama (LI 2015). Menurut informasi yang tersedia pada lembar data keamanan Vale, ferronikel adalah bahan ferromagnetik yang memiliki komposisi standar. Ferronikel terbagi menjadi dua kategori. Ferronikel kelas tinggi memiliki kadar nikel yang tinggi dan tingkat recovery besi yang rendah karena pengurangan potensial reduksi yang digunakan selama proses smelting. Ferronikel kelas rendah memiliki kadar nikel yang lebih rendah tetapi kadar besi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh potensi reduksi yang tinggi selama proses pengolahannya. Terlepas dari sifat-sifat logam ini, termasuk ketahanan korosi dan kekuatan yang tinggi, ferronikel pasti akan digunakan.

3.3 Bisnis Proses Industri Smelter Nikel

Proses industri smelter nikel terdiri dari sejumlah proses yang kompleks untuk mengubah biji nikel menjadi produk berharga seperti nikel murni, ferronikel, atau nikel matte. Produk ini digunakan dalam berbagai industri, seperti pembuatan baja tahan karat dan baterai kendaraan listrik. Dimulai dengan penambangan bijih nikel, yang kemudian dikirim ke smelter untuk mengalami proses pengeringan dan reduksi. Pada tahap ini, bijih nikel dipanaskan dalam tanur menggunakan teknologi seperti *furnace blast* atau *rotary kiln*

electric (RKEF) untuk membedakan nikel dari komponen pengotor.



Gambar 3. 1. Proses Rotary Kiln Electric Furnace (RKEF)

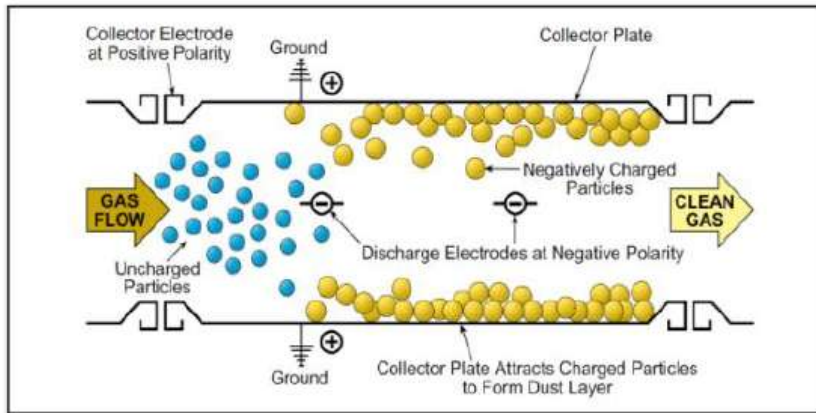
Selanjutnya, produk yang dihasilkan dari proses pemrosesan dilebur dan dimurnikan untuk memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan. Untuk memastikan efisiensi, kualitas produk, dan kepatuhan terhadap standar lingkungan, proses ini membutuhkan kontrol kualitas yang ketat serta teknologi canggih. Selain itu, keberhasilan proses ini sangat bergantung pada pasokan bahan baku yang berkelanjutan, pengelolaan energi yang efektif, dan strategi pemasaran yang efektif untuk memasuki pasar di seluruh dunia.

Perusahaan melakukan pemurnian nikel melalui berbagai tahapan untuk menyesuaikannya dengan jenis bijih yang ditambang, ketersediaan sumber daya listrik yang memadai, dan akhirnya menghasilkan nikel matte. Proses pyrometalurgy mencakup pengeringan, reduksi dan

kalsinasi, peleburan, pemurnian, dan granulasi. Setiap proses memiliki spesifikasi proses yang berbeda, termasuk bahan yang dibutuhkan dan hasil produk yang berbeda, yang menghasilkan emisi yang berbeda. Perusahaan memulai proses pemurnian nikel dengan pengeringan pada tanur pengering untuk mengurangi jumlah air dalam bijih mentah. Setelah itu, dilanjutkan ke tanur pereduksi untuk menghasilkan kalsin sebagai umpan dalam tanur peleburan. Pada awal proses, batubara ditambahkan dan pada akhir proses, sulfur cair ditambahkan sebagai katalis untuk proses peleburan. Dalam tanur, listrik bertegangan tinggi mengalir melalui elektroda karbon untuk melebur kalsin, menghasilkan nikel dengan kemurnian 20% dan terak. Nikel matte yang dihasilkan dari peleburan dimurnikan kembali pada *converter* dengan menggunakan oksigen. Ini menyebabkan besi yang terkandung pada nikel matte mengalami proses oksidasi. Dalam proses ini, silica dan *scrap converter* ditambahkan untuk menghentikan reaksi oksidasi besi yang menghasilkan banyak panas. Proses ini menghasilkan nikel dengan kemurnian 75% dan terak dari hasil oksidasi. Setelah itu, nikel matte disemprotkan pada air bertekanan untuk membentuk butiran, lalu dikeringkan dalam tanur pengering dan siap untuk dikemas.

Alat yang dipasang untuk mengurangi emisi di smelter disesuaikan dengan jenis emisi yang dihasilkan selama proses, serta jumlah debu yang harus dikumpulkan untuk digunakan kembali selama proses lainnya. Prinsip utama sistem ini adalah untuk menarik atau mengikat partikel abu keluar dari sistem pembakaran dengan menggunakan arus listrik bertegangan tinggi melalui kawat-kawat elektrode yang bermuatan negatif. Setelah partikel abu termuati, abu

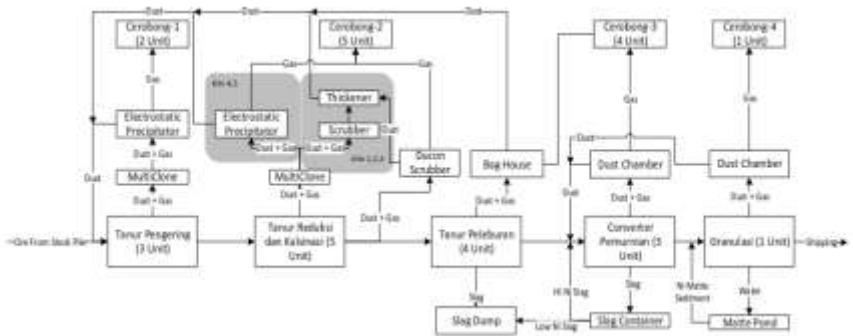
akan tertarik dan terikat pada pelat baja pengumpul yang bermuatan positif (Muttaqim, Trimulyono, & Hadi, 2015).



Gambar 3. 2. Prinsip *Electrostatic Precipitator* (ESP)

Multicyclone yang dipasang secara seri dengan ESP digunakan pada tanur pengering untuk mengurangi emisi yang dihasilkan oleh proses pengeringan. Multicyclone digunakan pada seluruh tanur, tetapi Wet Scrubber digunakan pada tanur 1,2 dan 3, dan ESP digunakan pada tanur 4 dan 5, yang merupakan tanur pilot dalam perencanaan penerapan ESP pada seluruh tanur pereduksi. Karena suhu gas buang yang tinggi, tanur peleburan digunakan sebagai alat untuk mengontrol emisi.

Dengan menggunakan ESP/dust collector, proses pemurnian menghasilkan cerobong yang serupa dengan tanur peleburan. Tanur pengering yang menghasilkan granul nikel matte menggunakan ESP untuk mengontrol emisi. Gambar 4.3. menunjukkan operasional proses pemurnian bijih nikel, serta prosedur penggunaan kembali produk samping yang dihasilkan selama setiap proses.



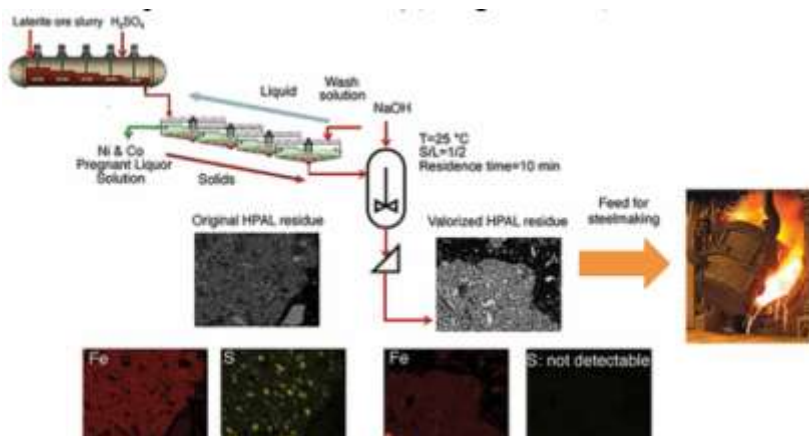
Gambar 3. 3. Bisnis Proses Industri Nikel

Gambar di atas menunjukkan diagram alir proses industri smelter untuk mengolah bijih nikel, yang terdiri dari beberapa tahapan utama. Bijih nikel dari gudang diproses melalui tanur pengering tiga unit untuk mengurangi kadar air, menghasilkan debu dan gas. Kemudian, bijih kering diproses dalam tanur reduksi dan kalsinasi lima unit dengan proses pemanasan tinggi untuk memisahkan senyawa nikel dari pengotor. Gas dan debu yang dihasilkan oleh proses ini dikirim ke scrubber dan thickener untuk menangkap polutan sebelum dilepas melalui cerobong. Setelah reduksi, material dilebur di empat tanur peleburan untuk membedakan nikel cair dari slag. Nikel cair kemudian dimurnikan di tiga unit *converter* pemurnian untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel matte berkualitas tinggi. Produk akhir tersebut kemudian melalui tahap granulasi sebelum dikirim ke pengapalan. Limbah slag dengan kadar nikel rendah disimpan di dump slag. Sisa nikel matte disimpan di pondasi matte. Untuk mengurangi emisi, sistem pengendalian debu, termasuk ruang debu, rumah tas, dan cerobong (*Chimney* 1-4), digunakan. Sistem ini memastikan bahwa emisi gas buang

sesuai dengan standar lingkungan. Diagram ini menunjukkan efisiensi operasional dan penekanan pada pengelolaan limbah dan efeknya terhadap lingkungan.

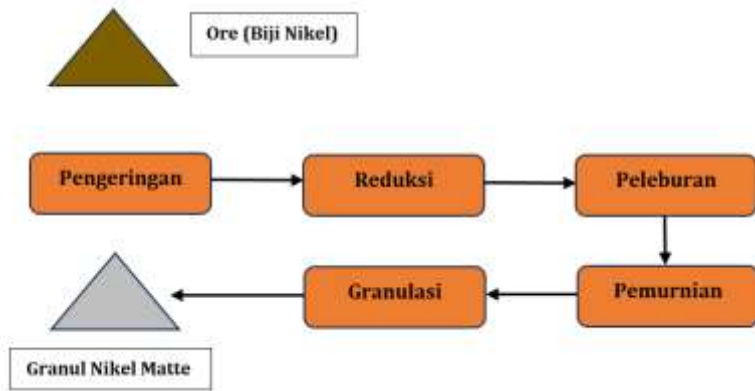
3.4 Alur Proses Permurnian Nikel

Langkah pertama dalam proses pemurnian nikel adalah pengeringan dan pemanggangan bijih mentah untuk mengurangi jumlah air dan senyawa organik yang terkandung. Setelah itu, bijih diproses melalui metode pirometalurgi atau hidrometalurgi, tergantung pada jenis bijih dan tujuan produk akhir. Pada metode pirometalurgi, bijih dilebur dalam tungku suhu tinggi untuk menghasilkan matte nikel, yang merupakan campuran nikel dan unsur lain seperti besi. Matte nikel kemudian dimurnikan melalui proses konverter untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan kadar nikel.



Gambar 3. 4. Proses *High Pressure Acid Leach* (HPAL)

Hasil dari nikel yang murni dengan kemurnian tinggi yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Oleh karena itu, terak, produk sampingan dari proses peleburan dan pemurnian yang terjadi pada *converter*, berasal dari kumpulan material pengotor pada bijih nikel yang telah dimurnikan. Gambar 3.4 berikut menggambarkan alur proses pemurnian biji nikel:



Gambar 3. 5. Alur Proses Pemurnian Biji Nikel

1. Ore (Biji Nikel)

Bijih nikel adalah sumber daya mineral utama yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri smelter nikel. Bijih nikel umumnya ditemukan dalam dua jenis utama, yaitu laterit dan sulfida. Bijih laterit biasanya ditemukan di daerah tropis dengan kandungan nikel yang tersebar di permukaan tanah, sedangkan bijih sulfida berada di lapisan yang lebih dalam dan sering ditemukan bersama mineral lain seperti tembaga dan besi. Proses pengolahan bijih nikel dimulai dari tahap penambangan dan pengangkutan ke fasilitas pengolahan, di mana bijih mengalami berbagai proses seperti

pengeringan, reduksi, peleburan, hingga pemurnian untuk menghasilkan produk akhir seperti nikel matte atau ferronikel.



Gambar 3. 6. Ore (Biji Nikel)

2. Proses Pengeringan (*Drying*)

Tahap pertama pengolahan bijih nikel adalah pengeringan. Ini dilakukan untuk mengurangi jumlah air dalam bahan sebelum masuk ke tahap pengolahan berikutnya. Biasanya, biji nikel yang diambil dari tambang memiliki kandungan air yang tinggi, terutama jika berasal dari bijih laterit, yang karena sifat geologisnya cenderung menyerap air. Tanur pengering, juga dikenal sebagai tanur pengering, digunakan untuk melakukan proses pengeringan. Pada suhu tertentu, biji nikel dipanaskan untuk menguapkan air yang terkandung di dalamnya. Karena kadar air yang tinggi dapat mengurangi efisiensi energi dan memperlambat proses pemanasan, pengeringan ini diperlukan untuk meningkatkan efisiensi pada tahap berikutnya, seperti

reduksi dan peleburan. Tahap pertama pengolahan biji nikel disebut pengeringan. Proses ini dilakukan dengan pengering rotari yang menggunakan bahan bakar, biasanya minyak residu. Pada tahap ini biji nikel yang awalnya memiliki kadar air sekitar 35% setelah dikeringkan kadar air menjadi 20 %.



Gambar 3. 7. Proses Pengeringan (Drying)

3. Proses Reduksi (*Reduction*)

Tahap penting dalam pengolahan bijih nikel adalah proses reduksi, di mana senyawa oksida nikel direduksi menjadi bentuk logam nikel yang lebih murni. Proses ini biasanya dilakukan dalam tanur reduksi dengan menggunakan suhu tinggi dan agen pereduksi seperti batu bara atau gas alam. Bijih nikel yang telah dikeringkan dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu sehingga oksida nikel dapat dipisahkan dari unsur

pengotor seperti silika dan magnesium. Setelah mengering dengan kadar air dua puluh persen, biji nikel dimasukkan ke dalam rotary kiln untuk direduksi. Pada awalnya, kadar air biji nikel turun menjadi nol, dan setelah itu, biji nikel oksida diubah menjadi logam nikel dan besi melalui proses reduksi. Tahap reduksi ini sangat penting karena menentukan efisiensi proses pengolahan secara keseluruhan dan kualitas nikel yang dihasilkan. Teknologi seperti RKEF biasanya digunakan dalam proses ini untuk mengolah bijih laterit berkadar rendah hingga sedang. Proses reduksi menghasilkan semi-logam nikel, yang siap untuk peleburan dan pemurnian lebih lanjut.



Gambar 3. 8. Reduction Kiln

4. Proses Peleburan (*Smelting*)

Proses metalurgi di mana logam diekstraksi dari bijih melalui proses pemanasan dan pengurangan. Proses ini biasanya dilakukan dengan memanaskan bijih logam dalam tungku peleburan hingga suhu tinggi, yang memungkinkan logam terpisah dari bahan pengotor lainnya seperti silika, oksida, atau belerang. Di industri metalurgi, peleburan memungkinkan pemrosesan logam dalam jumlah besar dengan biaya yang rendah. Pada tahap ini, calcine akan dilebur dalam tungku lebur listrik. Kalsin dilebur menjadi matte dengan kualitas khusus. Pada tahap ini, slag dan pengotor juga dibuat selain nikel matte. Setelah proses ini selesai, nikel matte, yang mengandung nikel 27 persen/matte, dicampur dalam ladle, dikirim ke converter.



Gambar 3. 9. Peleburan (smelting)

5. Proses Pemurnian (*Converting*)

Industri nikel menghasilkan logam yang lebih murni dan berkualitas tinggi dengan menghilangkan unsur pengotor atau bahan yang tidak diinginkan dari logam hasil peleburan. Konversi dengan udara atau oksigen untuk mengoksidasi unsur pengotor, yang kemudian dapat dipisahkan melalui reaksi kimia, adalah metode yang umum digunakan dalam pemurnian. Proses pemurnian juga dapat melibatkan penambahan bahan kimia atau fluks untuk membantu memisahkan unsur-unsur yang tidak diinginkan. Kadar nikel dalam matte cair yang dihasilkan dari dapur listrik listrik meningkat selama proses konversi, sementara kadar besi dalam matte cair turun. Jadi, proses *converting* merupakan proses pemurnian nikel matte. *Converting* dilakukan dalam top Blown Kaldor Type rotary converter (TBRC) atau dalam *pierce smith converter*.

6. Proses Granulasi (*Granulating*)

Dalam industri smelter, granulasi umumnya digunakan untuk memproses produk sampingan atau bahan yang dihasilkan selama proses pemurnian logam, seperti slag (terak) atau biji yang telah dipisahkan. Proses granulasi dilakukan dengan cara menyemprotkan air atau bahan pendingin lainnya ke terak panas yang keluar dari tungku peleburan, sehingga terak tersebut berubah menjadi granula kecil yang lebih stabil dan mudah disimpan. Granulasi merupakan tahap terakhir dari proses pengolahan biji nikel menjadi matte. Matte cair ditransfer dari proses *converting* ke lokasi granulasi menggunakan ladle. Selama proses granulasi, matte cair

disemprot dengan air bertekanan tertentu dan membeku dalam bentuk granul.



Gambar 3. 10. Proses Granulasi (*Granullating*)

BAB 4

TRANSFORMASI 4.0 INDUSTRI NIKEL

4.1 Transformasi Industri 4.0

Menggabungkan teknologi siber dan teknologi otomatisasi, transformasi industri 4.0 berfokus pada otomatisasi. Dengan bantuan teknologi informasi selama proses aplikasi, keterlibatan tenaga kerja manusia dapat dikurangi. Oleh karena itu, produktivitas dan efisiensi di tempat kerja dengan sendirinya meningkat. Dalam dunia bisnis, hal ini sangat berdampak pada kualitas kerja dan biaya produksi.

Revolusi Industri 4.0 adalah kemajuan besar dalam industri di mana teknologi informasi dan komunikasi digunakan sepenuhnya untuk menghasilkan model bisnis baru berbasis digital. Revolusi Industri 4.0 mencakup lima teknologi utama: Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing, dan Additive Manufacturing.

1. Internet of Things (IoT)

Sistem Internet of Things (IoT) adalah sistem yang menggunakan perangkat komputasi, mekanis, dan mesin digital dalam satu keterhubungan, yang memungkinkan mereka melakukan tugasnya tanpa memerlukan interaksi manusia-komputer, atau interaksi manusia-komputer. Empat komponen terdiri

dari sistem Internet of Things: perangkat sensor, konektivitas, pemrosesan data, dan antarmuka pengguna. Aplikasi IoT di Indonesia termasuk Gowes (IoT untuk berbagi sepeda), eFishery (IoT yang menyediakan pakan ikan otomatis), Qlue (IoT untuk kota pintar), dan Hara (IoT untuk pangan dan pertanian).

2. **Big Data**

Istilah "Big Data" mengacu pada jumlah besar data terstruktur atau tidak terstruktur. Namun, bukan jumlah data itu sendiri yang penting, tetapi bagaimana organisasi menggunakannya untuk membuat keputusan dan strategi bisnis. Sonar Platform, Paques Platform, Datastore, dan Dattabot adalah beberapa penyedia layanan big data di Indonesia.

3. **Artificial Intelligence (AI)**

AI adalah teknologi komputer atau mesin yang memiliki kecerdasan manusia dan dapat diatur oleh manusia. Semakin banyak data yang diterima dan dianalisis AI, semakin baik prediksinya. Penggunaan AI termasuk chatbot dan pengenalan wajah.

4. **Cloud Computing**

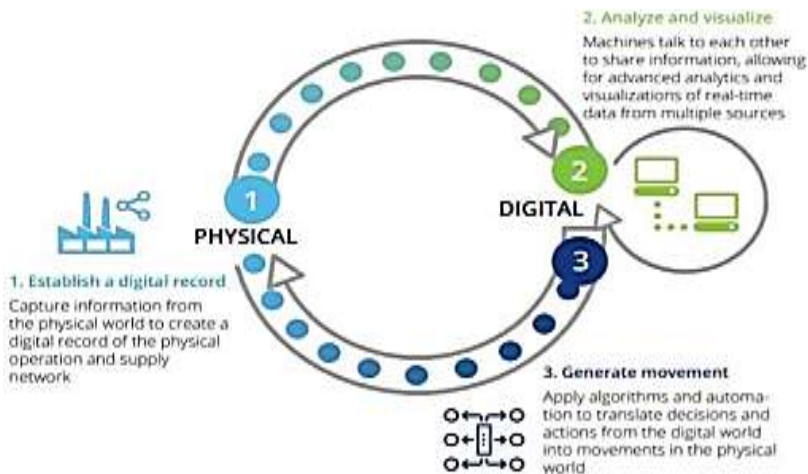
Komputasi awan, juga dikenal sebagai komputasi awan, adalah teknologi yang membuat internet berfungsi sebagai pusat untuk mengelola data dan aplikasi. Dengan menggunakan komputasi awan, pengguna komputer dapat mengakses cloud dan mengkonfigurasi peladen (server) melalui internet.

5. **Additive Manufacturing**

Dengan menggunakan mesin pencetak 3D, juga dikenal sebagai "cetak 3D", additive manufacturing

adalah kemajuan baru dalam industri manufaktur. Gambar desain digital yang telah dibuat dimodelkan menjadi benda nyata dengan bentuk dan ukuran yang sebanding dengan desain asli. Teknologi manufaktur additive memungkinkan lebih banyak desain dan produk yang tidak dapat dibuat dengan metode manufaktur konvensional.

Penggunaan kecerdasan buatan atau AI adalah salah satu ciri industri 4.0. Penggunaan robot untuk menggantikan tenaga manusia sehingga lebih murah, efisien, dan efektif (Tjandrawinata, 2016). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut, perpindahan lompatan peran fisik ke digital ke fisik menunjukkan bahwa era IR 4.0 mengutamakan digitalisasi manufaktur dan jaringan suplai, yang mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber dan lokasi.



Gambar 4. 1. Peran Fisik Ke Digital Industri 4.0

Teknologi yang paling banyak digunakan adalah *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS), dan *Internet of People* (IoP), yang didasarkan pada sistem cyber fisik dan sistem maya. Dengan bantuan teknologi ini, entitas komunikasi (Industri 4.0) dapat berinteraksi satu sama lain dan memanfaatkan data produsen sepanjang siklus kehidupan sistem tanpa terbatas oleh batas-batas organisasi atau negara. Setiap saat, semua pihak yang terkait memiliki akses ke informasi dan data yang relevan sehingga mereka dapat memahami dengan lebih akurat perubahan yang terjadi dalam pasokan, pengolahan, dan pengangkutan sebagai dasar untuk perencanaan, pengelolaan, dan evaluasi bisnis. Pola komunikasi telah berkembang tidak hanya antara pelanggan dan pelanggan, tetapi juga antara manusia dan mesin, dan mesin ke mesin.

4.2 Smart Manufacturing Industri 4.0

Di era digitalisasi saat ini, istilah industri 4.0 menjadi sangat penting. Sebaliknya, konsep smart manufacturing mendefinisikan metode, teknologi, dan praktik yang diperlukan untuk meningkatkan manajemen kualitas. teknologi yang akan digunakan oleh beberapa perusahaan di seluruh dunia untuk mendefinisikan manajemen kualitas. Analytics kualitas, pengendalian kualitas mesin visi, dan prosedur operasional standar (SOP) termasuk dalam kategori ini. Dalam industri manufaktur, transformasi digital, atau Industri 4.0, adalah transformasi industri yang menggabungkan kerja manusia dan mesin. Industri 4.0 mencakup semua teknologi, prosedur, dan praktik yang berkembang pesat yang mengubah industri manufaktur.



Gambar 4. 2. Smart Manufacturing Industri 4.0

Tiga teknologi penting pada smart manufacturing industri smelter yang nantinya akan ditransformasikan dengan penjelasan sebagai berikut :

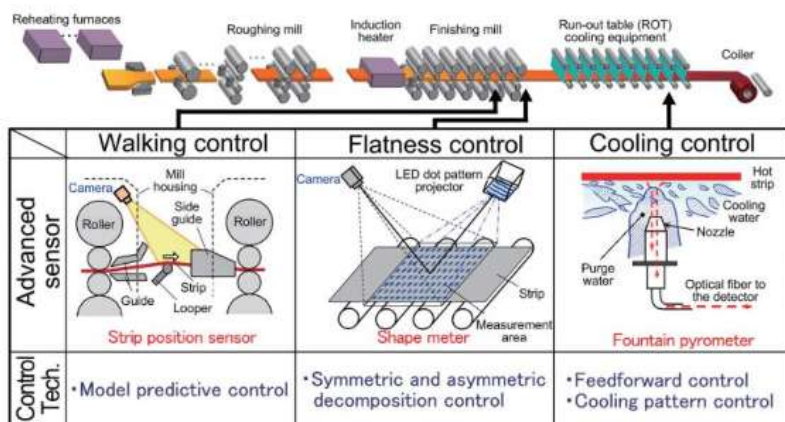
1. **Predictive Quality Analytics** : Analisa Kualitas Prediction: alat yang digunakan untuk mengukur kualitas produk, komponen, dan bahan yang sudah ada selama proses produksi. Proses ini dimulai dengan pengumpulan data yang sangat besar selama proses produksi yang dibersihkan, disusun, dan diperiksa. Dengan menggunakan analisis kualitas prediktif, manufaktur dapat memprediksi peristiwa yang tidak biasa dan penyebab utama masalah yang menyebabkan produk, komponen, dan bahan menjadi kurang berkualitas.

2. [Machine Vision Quality Control](#) : Inspeksi kualitas manual dapat dianggap sebagai tugas yang mahal dan membutuhkan waktu yang lama dalam proses otomatis yang memiliki banyak volume. Dalam proses ini, inspeksi sampel digunakan untuk menilai kualitas batch produksi secara keseluruhan dengan melihat seberapa sederhana proses produksinya. Namun, di era manufaktur pintar, proses ini tidak lagi digunakan. Di sinilah Kontrol Kualitas Visi Mesin berfungsi untuk memantau kualitas pabrikan. Setiap lini produk dapat diinspeksi secara otomatis dengan hasil yang konsisten dan akurat berkat teknologi ini. Machine Vision dapat memberikan hasil yang konsisten sambil menggantikan variabel manusia.
3. [Standard Operational Procedure \(SOP\)](#) : prosedur tertulis atau petunjuk langkah demi langkah yang menjelaskan cara melakukan suatu tugas secara rutin. SOP menawarkan instruksi untuk proses manual dan otomatis. SOP dapat membantu manajemen menetapkan proses kerja yang konsisten di seluruh perusahaan, mempertahankan kualitas, dan memastikan efisiensi dan keamanan kerja. SOP juga dapat membantu menghindari miskomunikasi dan mencegah kegagalan dalam mematuhi peraturan industri, sehingga proses menjadi lebih mudah dan risiko kesalahan berkurang. Salah satu teknologi terbaru dalam smart manufacturing adalah platform *Enterprise Content Management (ECM)*, yang memungkinkan manajemen menerapkan SOP dengan fitur canggih seperti akses kontrol yang aman, terpusat, dan mudah dibuat dan diubah.

4.3 Transformasi Digitalisasi Industri Nikel

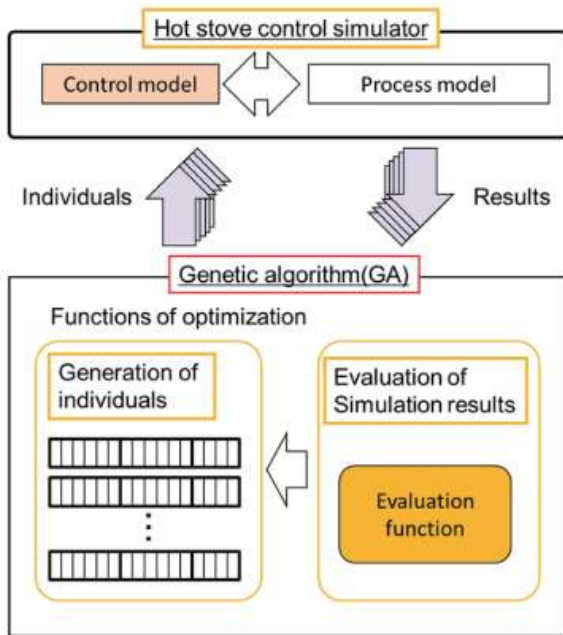
Perusahaan menggunakan standar industri nikel 4.0 untuk memperbarui sistem mereka melalui transformasi digital. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan nilai guna dan kreativitas sekaligus memberikan layanan yang lebih mudah dan cepat bagi klien internal dan konsumen sasaran. Pengembangan teknis dalam bidang pengukuran dan pengendalian proses peleburan membutuhkan kombinasi yang kuat dari kemampuan model proses, penerapan metode pengendalian tambahan, optimasi online, dan data. Sebuah teknik untuk mengontrol kerataan strip menggunakan pengukur bentuk strip yang menggunakan pola proyeksi LED di sisi finishing untuk mengidentifikasi komponen simetris dan asimetris. Komponen - komponen ini kemudian dikembalikan ke gulungan kerja work untuk menekuk dan meratakan kedudukan pabrik finishing. Sistem kontrol pendinginan strip menggunakan pirometer air mancur untuk mendinginkan strip di meja *run-out*.

Suhu strip di titik pengambilan sampel atau kontrol poin strip yang sedang didinginkan diukur, diprediksi suhu melingkar di titik-titik tersebut, dan diatur aliran air pendingin dengan umpan untuk kontrol lingkungan. Semua ini dilakukan untuk memastikan bahwa suhu melingkar di setiap titik kontrol sama dengan nilai target. Selain melingkar kontrol suhu, pirometer air mancur juga digunakan untuk mengontrol pola pendinginan dinamis. Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana suhu akhir pendinginan cepat dan waktu pendinginan udara menengah diatur.



Gambar 4. 3. Teknologi Industri Nikel

Teknologi kontrol pembakaran kompor panas telah dikembangkan untuk mengoptimalkan pola pembakaran kompor panas dalam proses kontrol yang menggunakan teknologi optimasi online. Kombinasi simulator tanaman dan algoritma genetika (GA) memungkinkan untuk memaksimalkan efisiensi panas sambil memenuhi kondisi terbatas. Pemanasan ulang tungku pabrik pelat terus dilakukan dengan menggunakan model perhitungan suhu pelat 3D yang disederhanakan dan pemrograman linier untuk menentukan zona suhu tungku. Di bidang pemodelan data, berbagai macam teknik baru telah dikembangkan untuk aplikasi yang berbeda; ini termasuk skala besar, pemodelan on-line berbasis database (LOM), metode konstruksi model kontrol berdasarkan otomatis, analisis komponen utama-linear diskriminan analisis (PCA-LDA), peningkatan kualitas berbasis data (DDQI), dan model linier umum (GLM).



Gambar 4. 4. Proses Simulasi dan GA

Dalam transformasi industri 4.0 ini, proses peleburan nikel akan dikembangkan melalui penggunaan teknologi otomatisasi sistem kontrol. Tujuan dari penggunaan sistem otomasi adalah untuk mencapai kondisi operasi terbaik untuk proses peleburan nikel di tungku, sehingga mengurangi biaya produksi.

1. Operator Training Simulator (OTS)

Teknologi otomatisasi dalam industri nikel berhubungan dengan operator melalui simulasi teknologi. Simulasi teknologi melibatkan penggunaan perangkat untuk mensimulasikan proses dan sistem kontrol, yang didasarkan pada dinamika sistem proses

yang sebenarnya. Dengan mengubah tampilan OTS menjadi seperti tampilan proses di ruang kontrol pabrik, operator dapat mempelajari OTS seolah-olah mereka sedang melihat tampilan DCS sebenarnya di pabrik. Ini memungkinkan mereka untuk memperoleh pengetahuan tanpa harus melakukan latihan langsung di lapangan. OTS memiliki kemampuan untuk melakukan simulasi pada berbagai kondisi operasi selain kondisi normal, seperti kondisi startup, shutdown, dan kondisi darurat. Selain itu, OTS dapat memulai simulasi pada kondisi awal yang diinginkan.

2. *Distributed Control Sistem (DCS)*

DCS adalah sistem kontrol terdistribusi berbasis komputer yang dapat mengumpulkan data lapangan dan menentukan perlakuannya. Tiga komponen utama Distributed Control System (DCS) adalah *Human Interface Station (HIS)*, *Field Control Station (FCS)*, dan instrument lapangan yang terdiri dari sensor dan aktuator. FCS dan HIS dihubungkan oleh sistem komunikasi yang disebut VL Net. Sistem *Distributed Control System (DCS)* ini menawarkan ruang kontrol kontemporer dengan layar dan panel kontrol canggih. Banyak kali, sistem ini digunakan untuk memantau dan mengawasi proses industri secara real-time.



Gambar 4. 5. *Distributed Control Sistem (DCS)*

3. *Programmable Logic Controller (PLC)*

PLC merupakan sistem kendali yang memiliki 3 elemen yang saling berkaitan, yaitu *Input*/masukan, *Controlling*/Proses, dan *Output*/Keluaran. Penggunaan *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai sistem kontrol/kendali dalam sebuah industri dinilai sangat efektif dan efisien dikarenakan dapat memudahkan pendistribusian barang dengan cepat dari suatu tempat ke tempat lainnya. Dalam Industri nikel, proses produksi material bijih nikel (ore) hingga menjadi Nikel melalui berbagai tahapan. Salah satu tahapannya yaitu proses pemindahan bijih nikel yang telah berbentuk biji-biji besi ke dalam tempat penampungan (Apron). Proses ini menggunakan *conveyor* sebagai alat bantu pendistribusian. Agar proses pemindahan material ini dapat bekerja secara cepat dan efisien dapat

menggunakan suatu sistem kendali secara otomatis berbasis PLC. Proses kerja PLC memiliki tiga tahapan, dimulai dari proses pertama membaca atau menerima data dari modul input/masukan, kemudian proses kedua melakukan program *running* atau eksekusi program yang telah tertulis di memori, dan proses akhir yaitu melakukan pembaharuan situasi output/keluaran yang akan dikirim ke peralatan diluar PLC.

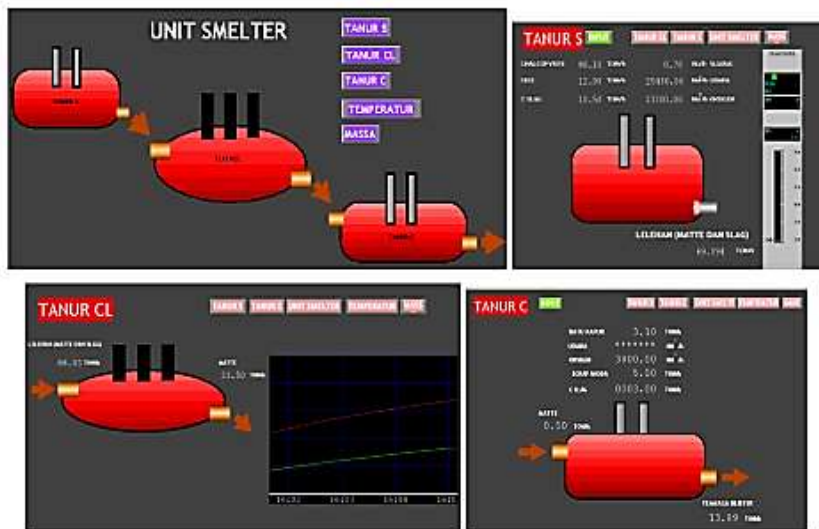


Gambar 4. 6. *Programmable Logic Controller* (PLC)

4. Proses Pemurnian Industri Nikel

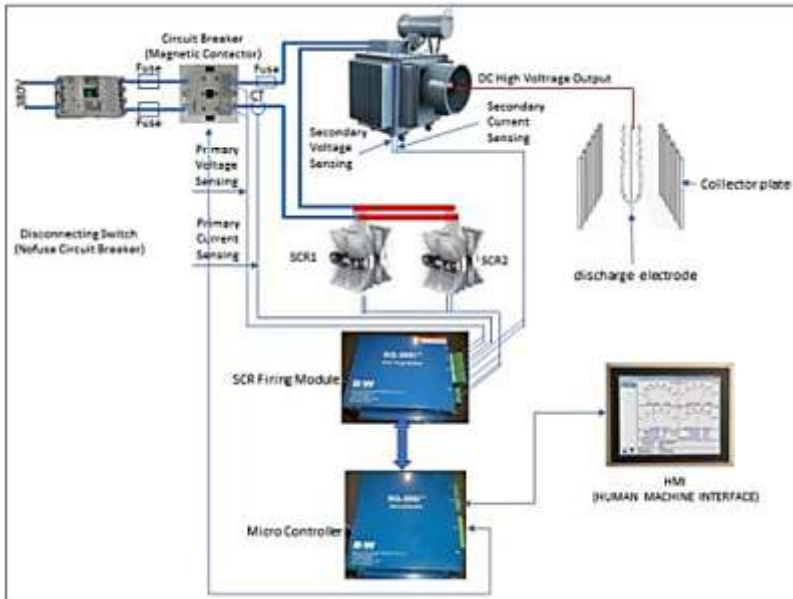
Industri nikel memproses bijih nikel melalui berbagai langkah untuk menghasilkan produk berharga. Di dalam unit smelter nikel, pembakaran terjadi dan tanur anoda digunakan. Selanjutnya, tembaga dimurnikan melalui elektrolisis di unit elektrolisis dinamika nikel,

yang terdiri dari tanur S, CL, dan tanur C. Konsentrat yang telah dikeringkan dicampur dengan pasir silika kemudian dialirkan ke dalam tanur S untuk mengalami proses oksidasi menggunakan udara yang telah diperkaya dengan oksigen. Keluaran tanur S adalah lelehan campuran matte dan terak, Dalam tanur C, matte akan mengalami proses oksidasi kembali untuk menghilangkan sisa pengotor. Tembaga cair, yang memiliki kadar tembaga 98,5%, dan terak, adalah keluaran tanur C. Terak C akan dialirkan kembali ke tanur S dan tanur C untuk proses pengolahan kembali atau pengolahan kembali. Gambar 4.6 menunjukkan tampilan simulator proses pemurnian smelter.



Gambar 4. 7. Simulator Proses Permurnian

bekerja dibatasi karena akan menyebabkan kerja ESP tidak handal.



Gambar 4. 9. ESP Control System

DAFTAR PUSTAKA

- Aan Febriansyah, dkk. 2024. *Programmable Logic Controller (PLC) Dasar PLC Dan Teknik Pemrograman Ladder*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- (-----), 2017, Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - An Introduction, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-anintroduction.html>
- Chang, Cao. 2016. "Making Ferronickel from Laterite Nickel Ore by Coal-Based Self Reduction." *International Journal of Nonferrous Metallurgy* 9-15.
- Crundwell, Frank K. 2011. *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt, and Platinum Group of Metals*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Dalvi, Dr. Ashok D. 2004. "The Past and the Future of Nickel Laterites." *International Convention, Trade Show, and Investors Exchange*. Canada: Inco Limited. Canada.
- Electric Corporation Buklet Pengenalan PT Smelting Gresik. 2010. Indonesia.
- Elliott, R. 2017. "Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a Limonitic Laterite Ore." *Minerals Engineering*.
- Erwin Raza, dkk Manfaat dan Dampak Digitalisasi Logistik di Era Industri 4.0 jurnal Logistik Indonesia Vol 4 , No.1, April 2020, pp. 49-63

- Jiangan, Chen. 2014. "Study of the mechanism of the direct reduction roasting of the limonite in Jiangxi." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 671-678.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2018, March 22). Hadapi Era Digital, Kemenperin Fokus Prioritaskan Lima Sektor Industri. *Siaran Pers.* Retrieved from <http://www.kemenperin.go.id/artikel/1893/Hadapi-Era-Digital,-Kemenperin-FokusPrioritaskan-Lima-Sektor-Industri>.
- LI, Guanghui. 2015. "Effect of Quaternary Basicity on Melting Behavior and Ferronickel Growth of Saprolitic Laterite Ores in Krupp-Renn Process." *ISIJ International* 1828-1833.
- Maulida, M. 2011. *Pembuatan Operator Training Simulator Unit Methanasi Pabrik Amonia Menggunakan DCS CENTUM CS3000 YOKOGAWA*. Tugas Akhir S1, Institut Teknologi Bandung, Indonesia: tidak diterbitkan.
- Moch. Haerul, Dkk (2020) Study Valuasi Smelter Pengolahan Nikel Melalui Pendekatan Analisa Biaya Manfaat (Studi Kasus: Perusahaan Tambang Nikel Di Sulawesi Selatan) *Jurnal Teknik Lingkungan* Volume 26 Nomor 1, April 2020 (Hal 87 - 100)
- Mohammad Nandi Rofandi, dkk (2022) Sistem Kerja Electrostatic Precipitator(ESP) Untuk Menangkap Abu Hasil Proses Pembakaran di PLTU PT. Dian Swastatika Sentosa Serang Power Plant, *Jurnal Teknologi Terapan* Volume 6, No. 2, Oktober 2022, hal. 376-386

- Norgate, T. 2011. "Assessing the energy and greenhouse gas footprints of nickel laterite processing." *Minerals Engineering* 698-707.
- Prof. Klaus Martin Schwab dan Ghuftron (2018), dalam bukunya *The Fourth Industrial Revolution* (2017).
- Satrio utomo, dkk (2019) Industri 4.0: Pengukuran Tingkat Kesiapan Industri Tekstil Dengan Metode Singapore Smart Industry Readiness Index *Jurnal Techno Nusa Mandiri* Vol. 16, No. 1 Maret 2019.
- Seetharaman, Seshadri. 2014. *Treatise on Process Metallurgy Volume 3 : Industrial Processes*. Oxford: Eseevier Ltd.
- Singapore Smart Industry Readiness EDB. (2018). *The Smart Industry Readiness*, 46.
- Setiawan, Iwan. 2016. "Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Solar, M. Y. 2008. "Selection of optimum ferronickel grade." *CIM Bulletin*.
- Ukar Wijaya Soelistijo.(2013).Prospect of Potential Nickel Added Value Development in Indonesia. *Earth Science*. Vol. 2, No. 6, 2013, pp. 129-138. doi: 10.11648/j.earth.20130206.13
- Wang, Hua. 2011. "The reduction of nickel from low-grade nickel laterite ore using a solid-state." *Minerals Engineering*.
- Wills, Barry A. 2016. *Will's Mineral Processing Technology 8th Edition*. Elsevier Ltd.

BIODATA PENULIS



Roberth M. Ratlalan

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Mesin
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Ambon tanggal 29 September 1991. Penulis adalah ASN Dosen tetap Program Studi Teknik Perawatan Mesin Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, di bawah naungan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Industri Universitas Pattimura Ambon Tahun 2014 dan menyelesaikan pendidikan S2 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang Tahun 2017. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail : roberthmratlalan@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Odilia Valentine

Dosen Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Bulukumba, tanggal 22 Februari 1994. Penulis adalah ASN Dosen tetap Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, di bawah naungan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar Tahun 2016 dan menyelesaikan pendidikan S2 Magister Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung Tahun 2020. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail : odiliavalentine@gmail.com

SINOPSIS BUKU

Buku Transformasi 4.0 Industri Nikel ini diharapkan dapat memberikan wawasan, panduan, dan inspirasi dari berbagai pemangku kepentingan dalam menghadapi tantangan dan peluang di era revolusi industri keempat. Transformasi 4.0 bukan hanya tentang adopsi teknologi canggih, tetapi juga menyangkut perubahan paradigma dalam pengelolaan sumber daya, peningkatan efisiensi, dan keberlanjutan. Dengan memanfaatkan teknologi industri nikel dapat meningkatkan daya saing global sekaligus mendukung pembangunan ekonomi nasional. Kami percaya bahwa kerja sama antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat sangat penting untuk mewujudkan transformasi yang inklusif dan berkelanjutan. Semoga buku ini menjadi kontribusi nyata dalam mendorong kemajuan industri nikel di Indonesia menuju masa depan yang lebih inovatif, produktif, dan ramah lingkungan. Terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan menyempurnakan buku ini.