

4.0

# TRANSFORMASI INDUSTRI 4.0 MANUFAKTUR DISKRIT

4.0

ISSN 978-623-96413-1-3



9 786239 641313



**Kementerian  
Perindustrian**  
REPUBLIK INDONESIA



# **TRANSFORMASI INDUSTRI 4.0 MANUFAKTUR DISKRIT**

**PUSAT PENGEMBANGAN PENDIDIKAN VOKASI INDUSTRI  
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI  
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA**

# **TRANSFORMASI INDUSTRI 4.0 MANUFaktur DISKRIT**

Cetakan I, 2021

Tim Penyusun:

- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Mujiyono                  | Politeknik STMI Jakarta |
| 2. Mesdin Kornelis Simarmata | Politeknik STMI Jakarta |
| 3. Mustofa                   | Politeknik STMI Jakarta |
| 4. Muhammad Agus             | Politeknik STMI Jakarta |
| 5. Lucky Heriyanto           | Politeknik STMI Jakarta |
| 6. M. Tirtana Siregar        | Politeknik APP Jakarta  |
| 7. Lutfi                     | Politeknik ATI Makassar |

ISBN : 978-623-96413-1-3

Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasi Industri  
Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Industri  
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia  
Jl. Widya Chandra VIII No. 34  
Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12190

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, saya menyambut gembira atas terbitnya buku "**Transformasi Industri 4.0 - Manufaktur Diskrit**", yang disusun oleh Tim Kementerian Perindustrian sebagai salah satu usaha untuk memberikan pondasi bagi seluruh Mahasiswa dalam memahami revolusi industri 4.0. Kehadiran buku ini merupakan kelanjutan dari buku **Dasar Industri 4.0** untuk menghasilkan mahasiswa yang mampu menjadi agen transformasi industri 4.0 di masing-masing sektor industri.

Atas dasar itulah, Kementerian Perindustrian mewajibkan seluruh unit pendidikan untuk menerapkan Kurikulum Industri 4.0 dengan **materi Transformasi Industri 4.0 - Manufaktur Diskrit** yang diberikan kepada Mahasiswa Politeknik/ Akademi Komunitas termuat dalam buku ini. Materi pembelajaran yang termuat dalam buku ini, disusun secara sistematis dan mencakup pembelajaran serta pelatihan yang merupakan modal mahasiswa dalam memahami transformasi industri 4.0, proses bisnis industri dan membuat strategi implementasi transformasi industri 4.0 serta mempresentasikan solusi transformasi industri 4.0. Menyimak kandungan dalam buku ini, harapan saya buku ini memberikan sentuhan komprehensif dalam mendorong industri mengimplementasikan transformasi industri 4.0

Mudah-mudahan buku ini dapat menginspirasi para peserta didik dan menjadi acuan masyarakat industri dalam menerapkan transformasi industri 4.0. Buku ini juga dapat menjadi pelengkap bagi dunia pendidikan dalam menyiapkan peserta didik untuk menjadi agen transformasi industri 4.0

Akhirnya saya mengucapkan selamat atas diterbitkannya Buku "**Transformasi Industri 4.0 - Manufaktur Diskrit**" ini.

Kepala Badan Pengembangan  
Sumber Daya Manusia Industri

Arus Gunawan

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. <i>Reference Architecture Model for Industry 4.0</i> (RAMI 4.0) .	1
1.2. <i>Industrial Internet Reference Architecture</i> (IIRA).....	5
1.3. Implementasi IoT Industri.....	8
1.3.1. Arsitektur Tiga <i>Tier</i> .....	9
1.3.2. Perangkat Keras Edge <i>Tier</i> .....	10
1.3.3. Sensor Cerdas ( <i>Smart Sensor</i> ). .....	11
1.3.4. Aktuator.....	13
1.3.5. RFID .....	16
1.3.6. Konektifitas dan Protokol.....	21
BAB 2 SIKLUS MANUFAKTUR .....	24
2.1. Pendahuluan .....	24
2.2. Siklus Manufaktur .....	25
2.3. Teknologi Industri 4.0.....	27
2.3.1. Simulasi Tiga Dimensi.....	30
2.3.2. Kembaran Digital Produk dan Proses.....	33
2.3.3. <i>Additive Manufacturing</i> .....	36
2.3.4. <i>Big Data</i> dan Siklus Hidup Produk .....	42
2.3.5. Aplikasi <i>Big Data</i> .....	45
2.3.6. <i>Big Data Analysis</i> di Industri Otomotif.....	47
2.3.7. Komputasi Awan di Industri Otomotif .....	49
2.3.8. Kolaborasi Desain dengan Komputasi Awan.....	50
BAB 3 PROSES INDUSTRI OTOMOTIF.....	54
3.1. Pengantar.....	54
3.2. Proses pada OEM .....	55
3.3. Rantai Pasok Industri Otomotif.....	61
3.4. IoT dalam Pengelolaan Proses .....	66
3.4.1. Pemantauan Utilisasi Mesin .....	70
3.4.2. Pemeliharaan Terprediksi .....	71

BAB 4 TRANSFORMASI DIGITAL INDUSTRI MANUFAKTUR .....	73
4.1. Pendahuluan .....	73
4.2. Transformasi Digital Industri Otomotif .....	74
4.3. Pengendara Terkoneksi ( <i>connected traveler</i> ).....	76
4.4. <i>Cybersecurity</i> .....	78
4.5. <i>Autonomous Car</i> .....	79
4.6. <i>Digital Enterprise</i> .....	82
BAB 5 STRATEGI IMPLEMENTASI INDUSTRI 4.0 .....	86
5.1. Strategi bagi Korporasi .....	86
5.2. Strategi bagi IKM .....	88
5.3. Strategi Implementasi dengan <i>Toolbox Industry 4.0</i> .....	90
5.4. Pengukuran kesiapan industri 4.0 dengan <i>Toolbox Industry 4.0</i> .....	97
5.5. Gap Analisis Berbasis INDI 4.0 .....	100
5.5.1 Lima Pilar INDI 4.0.....	103
5.5.2 Tujuh Belas Bidang INDI 4.0 .....	105
BAB 6 PROYEK SOLUSI INDUSTRI 4.0 .....	113
DAFTAR PUSTAKA.....	116

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Model Arsitektur Rujukan Bagi Industri 4.0 .....	2
Gambar 1.2 Dimensi Hirarki dari RAMI .....	3
Gambar 1.3 Dimensi Daur Hidup dan Arus Nilai dari RAMI .....	4
Gambar 1.4 Dimensi Layer dari RAMI .....	5
Gambar 1.5 <i>Industrial Internet Reference Architecture, IIRA</i> .....	6
Gambar 1.6 Pola Arsitektur Tiga <i>Tier</i> .....	9
Gambar 1.7 Perangkat IoT digarda terdepan dari <i>Edge Tier</i> .....	10
Gambar 1.8 Diagram Blok Sensor Cerdas .....	11
Gambar 1.9 Jenis-jenis Sensor dan Aktuator .....	12
Gambar 1.10 Perangkat Sensor Cerdas dari Telosb Motes .....	13
Gambar 1.11 Servo Motor .....	14
Gambar 1.12 Stepper Motor.....	14
Gambar 1.13 Aktuator Linier .....	15
Gambar 1.14 Diagram Sebuah Relay .....	15
Gambar 1.15 Solenoid .....	16
Gambar 1.16 RFID: (a) Tag dan (b) Reader .....	17
Gambar 1.17 <i>Dell Edge Gateway</i> Untuk IoT .....	18
Gambar 1.18 Pemetaan Vendor IoT <i>Edge Gateway</i> .....	19
Gambar 1.19 Posisi <i>Edge Computing</i> .....	20
Gambar 1.20 Kerangka kerja Koneksi IoT di Industri dari IIC .....	21
Gambar 2.1 Diagram Siklus Realisasi Otomotif.....	25
Gambar 2.2 Siklus Manufaktur dalam Pengelolaan Rantai Pasok.....	26
Gambar 2.3 Siklus Manufaktur Industri Otomotif .....	26
Gambar 2.4 Manufaktur Digital sebagai Alat Simulasi.....	30
Gambar 2.5 Simulasi <i>Mixed Mesh Mode</i> dari <i>Solidworks</i> .....	31
Gambar 2.6 Simulasi Suspensi dan Poros Mesin .....	32
Gambar 2.7 Simulasi Tiga Dimensi Tata Letak Pabrik .....	33
Gambar 2.8 Ilustrasi Kembaran Digital di Industri Otomotif .....	34
Gambar 2.9 Model Kembaran Digital dan Proses Manufaktur ...	36
Gambar 2.10 Manufaktur Digital sebagai Unit Produksi.....	37
Gambar 2.11 <i>Big Data based Analysis for Product Lifecycle (BDA-PL)</i> .....	44
Gambar 2.12 Bagan MMP dari Studi Kasus .....	46
Gambar 2.13 Kerangka Analisis Sepanjang Rantai Nilai	

Manufaktur Otomotif.....	48
Gambar 2.14 Rantai Pasok Konvensional dan Rantai Pasok Awan.....	50
Gambar 2.15 Sistem Desain dan Manufaktur Berbasis Awan .....	51
Gambar 2.16 Contoh Lengkap Penggunaan <i>Cloud Computing</i> ....	53
Gambar 3.1 Struktur Industri Otomotif .....	54
Gambar 3.2 Bengkel Press ( <i>Press Shop</i> ) .....	55
Gambar 3.3 Bengkel Las ( <i>Weld Shop</i> ).....	56
Gambar 3.4 Bengkel Cat ( <i>Paint Shop</i> ).....	57
Gambar 3.5 Bengkel Mesin dan <i>TransAxle</i> .....	57
Gambar 3.6 Perakitan Final ( <i>Trim</i> ) .....	58
Gambar 3.7 Chasis Tangga ( <i>Ladder</i> ) .....	59
Gambar 3.8 Diagram Produksi Mobil Chasis Tangga.....	59
Gambar 3.9 Satu Badan ( <i>Monoque</i> ).....	60
Gambar 3.10 Diagram Produksi Mobil Satu Badan .....	60
Gambar 3.11 Proses Daur Ulang Baterai – Toyota.....	61
Gambar 3.12 Rantai Pasok Industri Otomotif .....	62
Gambar 3.13 Rantai Pasok di PT TMMIN.....	63
Gambar 3.14 Pengelolaan Logistik Inbound .....	63
Gambar 3.15 Alur Pengelolaan Outbound.....	65
Gambar 3.16 IoT dalam BPMN Sistem Irigasi Otomatis .....	67
Gambar 3.17 Perangkat IoT Berpartisipasi Langsung dalam Proses Bisnis (BP) .....	68
Gambar 3.18 Perangkat Mengeksekusi Kode yang Dikonversi dari Model BP .....	69
Gambar 3.19 Perangkat Mengeksekusi <i>Workflow</i> dari BP .....	70
Gambar 3.20 Skema IoT dalam Pemantauan Kinerja Mesin .....	71
Gambar 3.21 IoT dalam Pemeliharaan Terprediksi.....	72
Gambar 4.1 <i>Quick Win</i> Teknologi Transformasi Digital Industri Otomotif .....	75
Gambar 4.2 Teknologi Komunikasi dan Mobil Terkoneksi .....	77
Gambar 4.3 Komunikasi dua kendaraan dengan V2X .....	77
Gambar 4.4 Celah Keamanan dalam Mobil Terkoneksi .....	78
Gambar 4.5 Tingkat Otomasi Mobil .....	79
Gambar 4.6 Teknologi Mobil tanpa Pengemudi .....	80
Gambar 4.7 Rapat Bisnis dalam Mobil Tanpa Pengemudi .....	81
Gambar 4.8 Bekerja di Mobil dalam Perjalanan .....	82



Gambar 4.9 Penggunaan AR HoloLens di Industri Otomotif .....	83
Gambar 4.10 Penggunaan Simulasi Tiga Dimensi di Honda AS ...	83
Gambar 4.11 Komponen Hasil Pencetakan Tiga Dimensi .....	84
Gambar 4.12 Bus Shuttle Otonomi Hasil Pencetak Tiga Dimensi.....	85
Gambar 5.1 Anak Tangga Transformasi Industri 4.0.....	86
Gambar 5.2 Tahapan Penerapan <i>Guideline</i> Industri 4.0 (VDMA).....	91
Gambar 5.3 Analisis Kemampuan Produk (VDMA) .....	92
Gambar 5.4 Model Kano dari <i>Basic Need ke Delight Need</i> (VDMA).....	93
Gambar 5.5 Model Bisnis St.Gallen untuk Produk dan Produksi (VDMA).....	94
Gambar 5.6 BCG Matrik (VDMA).....	94
Gambar 5.7 INDI 4.0 – 5 Pilar dan 17 Bidang.....	101
Gambar 5.8 Struktur INDI 4.0.....	102
Gambar 5.9 Indeks Penilaian terhadap Keseluruhan Pilar INDI 4.0.....	110
Gambar 5.10 Penilaian Pilar Indi 4.0 .....	112
Gambar 6.1 Tahapan Proyek Transformasi Industri 4.0.....	113

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Peta Penggunaan Teknologi Industri 4.0 .....	29
Tabel 2.2 Teknologi dan Material untuk <i>Additive Manufacturing</i> .....	39
Tabel 2.3 Peran <i>Big Data</i> Dalam PLM .....	43
Tabel 2.4 Penggunaan PEID di Shop Floor .....	47
Tabel 4.1 Teknologi Manufaktur Digital .....	74



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

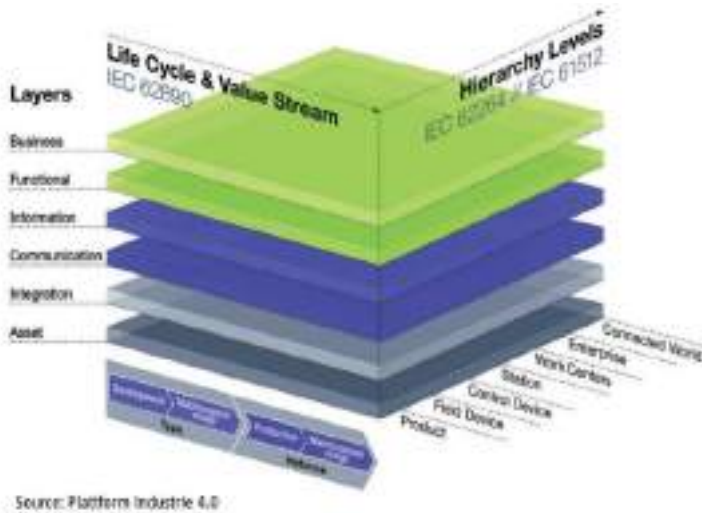
Industri 4.0 menuntut terjadinya pembangunan yang efisien sistem pengelolaan proses produksi secara mandiri. Untuk itu dibutuhkan *open software* dan standard komunikasi yang memungkinkan sensor, pengatur (*controller*), orang, mesin, peralatan, sistem logistik dan produk dapat berkomunikasi dan bekerjasama dengan yang lainnya secara langsung. Sementara itu setiap produsen dari masing-masing entitas ini merancang sendiri bahasa komputernya. Dibutuhkan kesepakatan arsitektur sebagai rujukan bagi para praktisi agar dapat meramu sistem dari teknologi yang disediakan para vendor.

### **1.1. Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0)**

Di Eropa, pemrakarsa Industri 4.0 yaitu perusahaan Bitkom di bidang teknologi informasi (IT), VDMA di bidang mekanikal, dan ZVEI di bidang elektronika sepakat mengumpulkan dan membangun standard bagi penerapan semua teknologi yang terkait dengan Industri 4.0. Hasilnya diumumkan pada tahun 2015 dengan nama *Reference Architecture Model for Industry 4.0*, *RAMI 4.0*, lihat Gambar 1.1.

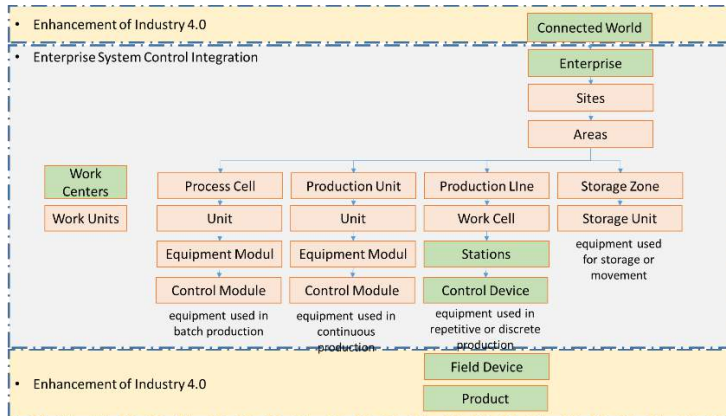
RAMI 4.0 memiliki tiga dimensi, yaitu:

- Dimensi pertama tentang tingkatan hirarki (**hierarchy levels**);
- Dimensi kedua mencakup daur hidup dan arus nilai (**life cycle and value stream**);
- Dimensi ketiga mencakup yang disebut dengan lapisan (**layers**) dari RAMI itu sendiri.



*Gambar 1.1  
Model Arsitektur Rujukan Bagi Industri 4.0*

**Dimensi Hirarki (*Hierarchy Levels*)** memiliki 7 level agregasi yang merupakan ekstensi dari arsitektur pengaturan manufaktur yang dibuat oleh ISA (*International Society of Automation*) dikenal dengan sebutan ISA-95, yaitu: (1) terkoneksi ke dunia; (2) *enterprise* ; (3) *work centers*; (4) stasiun atau mesin; (5) perangkat pengatur (*control devices*); (6) perangkat lapangan (*field devices*) yaitu sensor dan aktuator; dan (7) produk. Dalam arsitektur pengaturan manufaktur, ketujuh tingkatan digambarkan dalam 5 level piramid dari pengaturan (tanpa nomor 1 dan 7), lihat Gambar 1.2.

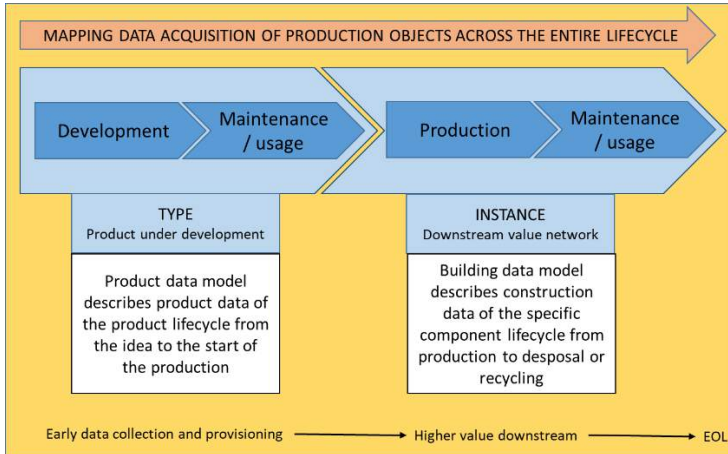


Sumber: Zezulka et al (2016)

Gambar 1.2  
Dimensi Hirarki dari RAMI

**Dimensi *Lifecycle and Value Stream*.** Namanya menunjukkan bahwa dimensi ini mencakup berbagai pemetaan data di semua tahapan sepanjang daur hidup dan sepanjang rantai nilai dengan berbagai proses dan pemangku kepentingan. Digitalisasi data dengan lengkap dan seawal mungkin menjadi sumber arus nilai (*value stream*) bagi perusahaan. Dimensi ini ditunjukkan dalam Gambar 1.3.

Dimensi ini dibagi dalam dua bagian: *type* dan *instance*. Tipe tercipta dengan ide awal dengan perkataan lain saat produk lahir semasa tahap pengembangan. Tahap pengembangan ini dimulai dengan perintah untuk mendesain produk baru, mengembangkan dan menguji sampel dan uji coba produksi. Tipe produk, mesin, dan berbagai perangkat lainnya tercipta di tahap ini. Setelah melalui pengujian dan validasi, tipe akhirnya dilepas untuk diproduksi.

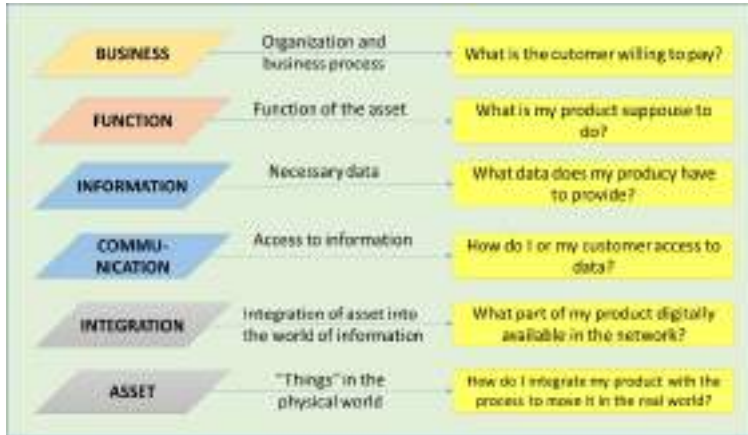


Sumber: diadopsi dari <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>

Gambar 1.3  
Dimensi Daur Hidup dan Arus Nilai dari RAMI

Produk dimanufaktur dalam skala industrial atas dasar tipe umum. Setiap produk yang dihasilkan mencerminkan sebuah *instance* dari tipe hasil di tahap pengembangan, sebagai contoh *instance* memiliki nomor seri yang unik. Instance dijual dan dideliver ke *customer*.

**Dimensi Layers** memuat 6 komponen yaitu: bisnis, fungsional, informasi, komunikasi, integrasi, dan aset. Pada dasarnya dimensi ini menjelaskan: (1) *enterprises* dan proses bisnisnya; (2) fungsi dari aset; (3) data yang diperlukan; (4) komunikasi sebagai akses kepada informasi; (5) integrasi sebagai "transisi dari dunia nyata ke dunia digital"; dan (6) hal-hal fisik dalam dunia nyata, Gambar 1.4.



Sumber: Schweichhart (2016)

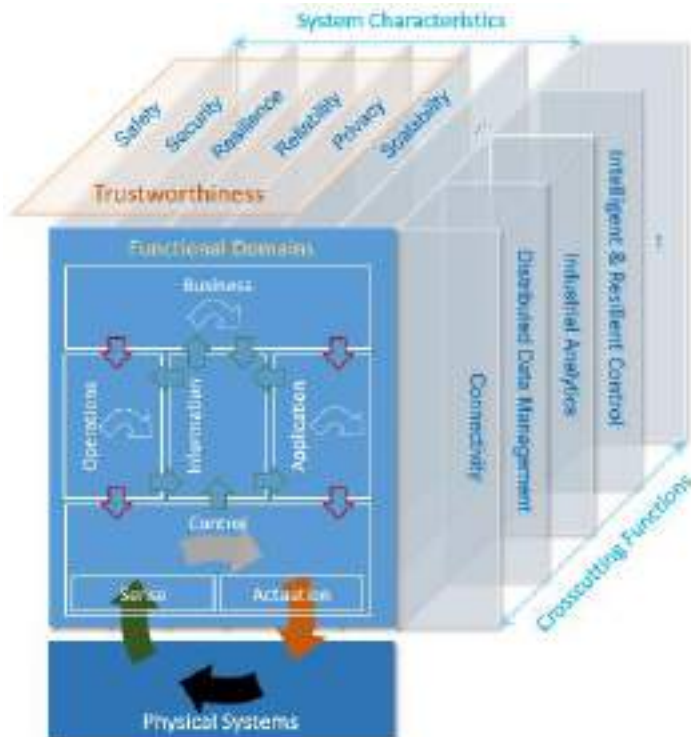
Gambar 1.4  
Dimensi Layer dari RAMI

## 1.2. *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)*

Di Amerika Serikat upaya yang sama juga dilakukan melalui organisasi *Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC)* yang menyusun arsitektur rujukan bagi internet di industri (*Industrial Internet Reference Architecture, IIRA*)<sup>1</sup> yang diumumkan tahun 2015, dan hingga tahun 2019 sudah mengalami perbaikan dan versi terakhir adalah IIRA versi 9, Gambar 1.5

<sup>1</sup> <https://www.iiconsortium.org>





Sumber: <https://www.iiconsortium.org/pdf/IIRA-v1.9.pdf>

Gambar 1.5  
*Industrial Internet Reference Architecture, IIRA*

IIRA terdiri dari tiga komponen, yaitu: (1) *Functional Domain*; (2) *Crosscutting Functions*; dan (3) *System Characteristics*. Hubungan dari ketiga komponen ini ditunjukkan dalam Gambar 1.7. Ketiga komponen ini berada dalam interaksi dengan sistem fisik melalui sensor dan aktuator.

**Functional Domains.** Domain fungsional dalam arsitektur ini mencerminkan bagaimana fungsi-fungsi bisnis mendukung proses bisnis yang harus diintegrasikan oleh sistem IoT Industri (IIoT) agar

mampu menjalankan operasi *end-to-end*. Sebagai contoh dari fungsi bisnis ini mencakup *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Customer Relationship Management* (CRM), *Product Lifecycle Management* (PLM), *Manufacturing Execution System* (MES), *Human Resource Planning* (HRM), manajemen aset, manajemen layanan daur hidup produk, sistem penagihan dan pembayaran, serta perencanaan kerja dan penjadwalan.

Sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 1.7, domain fungsional terdiri dari: (1) domain pengaturan (*control domain*); (2) domain operasi (*operations domain*); (3) domain informasi (*information domain*); (4) domain aplikasi (*application domain*); dan (5) domain bisnis (*business domain*). Aliran data dan aliran pengaturan terjadi antara domain-domain ini. Panah berwarna hijau menunjukkan aliran data, dan panah warna merah menunjukkan arah aliran pengaturan.

**Crosscutting Functions.** Agar fungsi bisnis dapat berjalan dengan baik, perlu ada fungsi yang bersifat lintas organisasi (*crosscutting functions*), dan semua elemen dalam fungsi bisnis harus terkoneksi, inilah fungsi *crosscutting* yang pertama. Di samping koneksi, elemen berikutnya dalam penggunaan internet di industri adalah aplikasi untuk menganalisis data yang dikumpulkan dari aset-aset industri dan sistem pengaturan (*control systems*) untuk memperoleh pemahaman mendalam (*insight*) dari setiap isu. Agar optimal, dibutuhkan upaya yang terkelola (*concerted effort*) dalam pengelolaan data. Dari perspektif ini, pengelolaan data (*data management*) menjadi fungsi *crosscutting* kedua.

**System Characteristics.** Untuk menjamin keamanan sistem, setiap komponen sistem harus dilengkapi dengan fungsi keamanan seperti enkriptik (*encryption*) dan pengujian identitas (*authentication*). Keamanan

seluruh sistem tergantung bagaimana komponen fungsi ini berinteraksi dan bekerja layaknya sebagai satu kesatuan secara terintegrasi (*integrated*). Hal yang sama juga dibutuhkan untuk karakteristik sistem lainnya seperti, keselamatan dan kapasitas melakukan pemulihan setelah gangguan (*resilience*). Sehingga secara keseluruhan, karakteristik sistem diukur dari "*trustworthiness*".

### **1.3. Implementasi IoT Industri**

Dari perspektif implementasi yaitu agar dapat menyusun anggaran biaya, *time-to-market*, strategi bisnis dalam hal target pasar, regulasi-regulasi yang relevan, serta perkiraan evolusi teknologi diperlukan arsitektur implementasi yang menjelaskan hal-hal sebagai berikut:

- Arsitektur yang menyangkut struktur dan distribusi komponen, dan topologi yang mengatur bagaimana mereka diinterkoneksi.
- Deskripsi teknis dari komponen, termasuk antar muka, protokol, perilaku dan sifat-sifat lainnya.
- Peta implementasi dari aktivitas-aktivitas yang teridentifikasi dalam hal penggunaan komponen fungsional ke komponen implementasi.
- Peta implementasi dalam hal karakteristik sistem kunci.

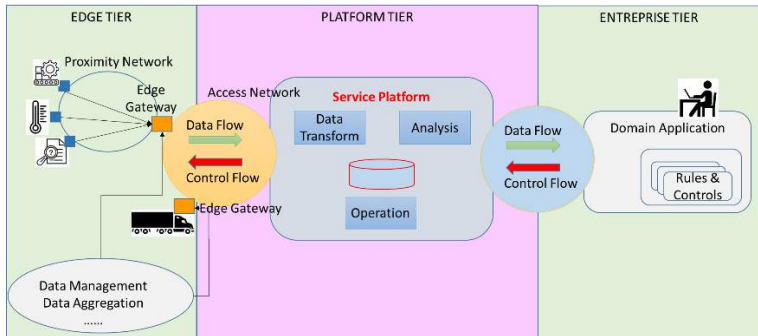
Ada berbagai arsitektur implementasi tergantung produsen, namun secara umum dibagi dalam tiga pola:

1. Arsitektur Tiga *Tier*;
2. Arsitektur *Gateway-Mediated-Edge Connectivity and Management*;
3. Arsitektur *Layered Databus*.

Sebagai rujukan implementasi, selanjutnya akan dielaborasi Arsitektur Tiga *Tier*.

### 1.3.1. Arsitektur Tiga Tier

Pola Tiga Tier terdiri dari: *edge tier*, *platform tier*, dan *enterprise tier*. Ketiga tier ini berperan secara khusus dalam pengolahan aliran data dan aliran pengaturan, lihat Gambar 1.6.



Sumber: <https://www.iiconsortium.org>

Gambar 1.6  
Pola Arsitektur Tiga Tier

**Edge Tier** berperan mengumpulkan data dari simpul-simpul *edge* (*edge nodes*) dengan menggunakan *proximity network*. Karakteristik arsitektural tier ini bervariasi tergantung penggunaannya yang meliputi lebarnya cakupan distribusi, lokasi, serta cakupan *governance* dan sifat alami dari *proximity network*.

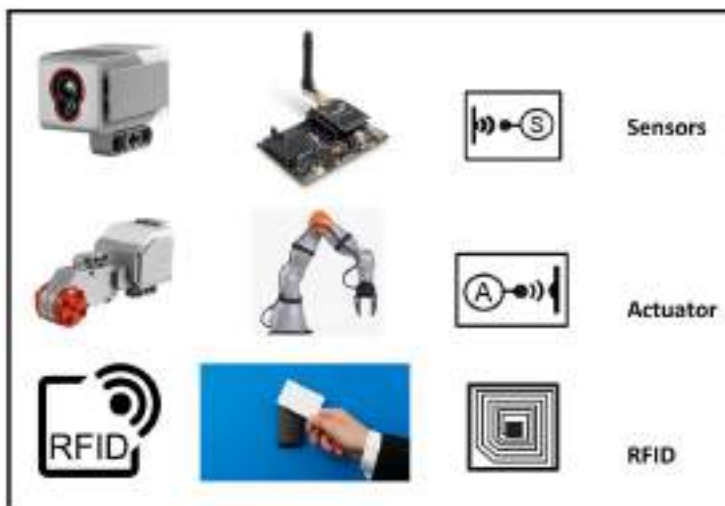
**The platform tier** berperan menerima, mengolah dan meneruskan perintah dari *enterprise tier* ke *edge tier*. Tier ini mengkonsolidasi dan menganalisis aliran data dari *edge tier* dan tier lainnya. Tier ini juga menyediakan peralatan (*device*) dan aset bagi fungsi-fungsi manajemen. Tier ini menawarkan layanan spesifik domain dalam hal *data query* dan analisis data.

**The enterprise tier** berperan mengimplementasikan aplikasi spesifik domain, sistem pendukung keputusan

(*decision support systems*) serta menyediakan antarmuka kepada pengguna akhir (*end users*) termasuk para spesialis operasi. *Tier* ini menerima aliran data dari *edge tier* dan *platform tier*, dan juga menerbitkan perintah pengaturan (*control*) ke *platform tier* dan *edge tier*.

### 1.3.2. Perangkat Keras *Edge Tier*

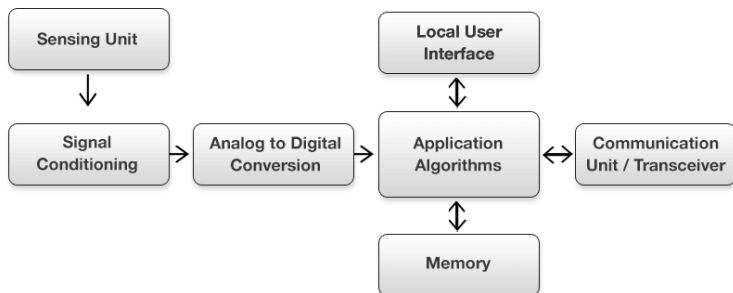
Perangkat keras dari *Edge Tier* yang berhubungan langsung dengan OT (*Things*) terdiri dari: (a) sensor, (b) aktuator, (c) RFID, dan (d) *Edge Gateway*. Gambar 1.7 menunjukkan perangkat yang berinteraksi langsung dengan sistem fisik atau OT.



Gambar 1.7  
Perangkat IoT di garda terdepan dari *Edge Tier*

### 1.3.3. Sensor Cerdas (*Smart Sensor*).

Dalam sistem IoT, sensor bertugas mengumpulkan data dari *Things* untuk dikirimkan melalui internet ke komputer sentral atau ke sistem awan (*cloud systems*). Sensor merupakan perangkat yang sangat penting dalam sukses atau tidaknya IoT. Sensor yang biasa kita kenal selama ini mengkonversi variabel fisik menjadi sinyal listrik. Sensor yang digunakan dalam IoT adalah sensor cerdas (*smart sensors*) yang bukan hanya mengkonversi besaran fisis menjadi sinyal listrik tetapi juga mengerjakan tugas tertentu baik dalam ranah teknis maupun ekonomis yang dibutuhkan sistem IoT. Gambar 1.8 menunjukkan diagram blok sebuah sensor cerdas.



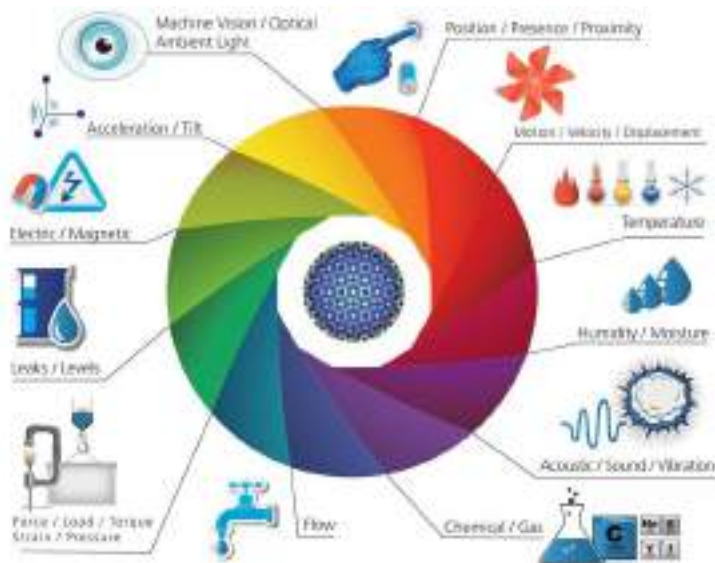
Sumber: <https://uk.farnell.com/smart-sensors-overview-and-latest-technology>

Gambar 1.8  
Diagram Blok Sensor Cerdas

Algoritma aplikasi dilaksanakan oleh *microprocessor unit* (MPU) yang ditanam di dalam perangkat ini, bekerja menyaring, mengkompensasi dan tugas lainnya yang berhubungan dengan sinyal. MPU cerdas dapat juga digunakan untuk fungsi lain guna mengurangi beban pengolah data sentral. Sebagai contoh, model kalibrasi data dapat dikirim ke MPU sehingga sensor dapat secara otomatis menyatel bila

ada perubahan dalam produksi. MPU juga dapat melakukan pengamatan terhadap penurunan parameter produksi dan bila sudah melewati batas akan mengirim peringatan ke operator. MPU juga dapat ditugasi untuk hanya mengirim data bila terjadi perubahan yang signifikan. Inilah cara sensor cerdas mengurangi beban di sentra pengolah data.

Dengan menyatukan elemen sensor MEMS (*micro-electro-mechanical-systems*) dengan componen komputasi CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*), sensor cerdas dapat implementasikan dalam bentuk kemasan yang kecil dan murah sehingga dapat digunakan dalam yang sempit dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Gambar 1.9 menunjukkan jenis jenis sensor yang ada.



Sumber: <https://www.postscapes.com/trackers/video/the-internet-of-things-and-sensors-and-actuators/>

Gambar 1.9  
Jenis-jenis Sensor dan Aktuator

Contoh dari *smart sensor* ditunjukkan dalam Gambar 1.10 yaitu Telosb Motes lengkap dengan keterangan diagram sebagaimana dibuat oleh Srivastava dan Venkataraman (2013).



Sumber: Srivastava & Venkataraman (2013)

Gambar 1.10  
Perangkat Sensor Cerdas dari Telosb Motes

#### **1.3.4. Aktuator**

Sama seperti sensor, aktuator masuk dalam keluarga transduser yaitu perangkat yang mengkonversi perubahan fisik seperti tekanan menjadi sinyal elektrik atau sebaliknya. Aktuator mengkonversi sinyal elektrik (sinyal digital) menjadi besaran fisik. Dalam sistem IoT, aktuator umumnya digunakan untuk mengeksekusi tindakan pengaturan (*control*) dengan menggunakan tenaga.

**Servo Motor** Sebuah servo adalah motor DC dengan dua kabel, roda gigi, potentiometer, sirkuit terpadu, dan *shaft*, lihat Gambar 1.11.





Gambar 1.11  
Servo Motor

**Stepper Motor.** Stepper motor adalah motor arus searah (DC) yang bergerak berputar dalam langkah tetap. Langkahnya dapat diatur, misalnya 6 langkah dalam satu putaran. Motor dilengkapi dengan beberapa pasang koil yang akan memutar sumbu bila dialiri listrik, lihat Gambar 1.12



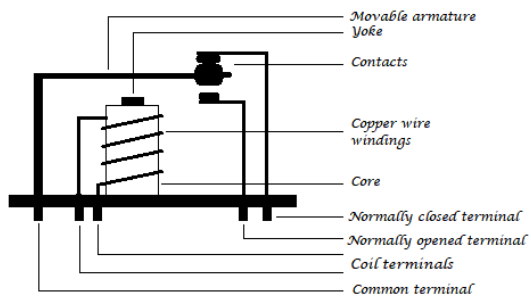
Gambar 1.12  
Stepper Motor

**Aktuator Linier.** Aktuator linier memberikan gerakan lurus yang dikonversi dari gerakan berputar yang dihasilkan motor, lihat Gambar 1.13.



Gambar 1.13  
Aktuator Linier

**Relay.** Relay adalah ON dan OFF yang digerakkan oleh listrik, kelebihan dari relay adalah energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikannya kecil, sehingga banyak digunakan untuk mengatur pemanas, lampu, dan AC, lihat Gambar 1.14



Gambar 1.14  
Diagram Sebuah Relay

**Solenoid.** Solenoid adalah perangkat elektromagnet yang bila diarusi listrik akan menggerakkan atau mendorong sumbu yang bisa digunakan sebagai tombol ON dan OFF, lihat Gambar 1.15



Gambar 1.15  
Solenoid

### 1.3.5. RFID

RFID adalah singkatan dari *Radio Frequency Identification*, atau Pengenal Frekuensi Radio. Sama dengan barcode berfungsi sebagai identifikasi produk atau "*things*" yang menggunakannya. RFID terdiri dari dua bagian: (a) *Tag*; dan (b) *Reader* atau interogator. Gambar 1.16 menunjukkan RFID yang sudah diintegrasikan dengan sistem IoT. Bila *Tag* melewati area yang masih dalam jangkauan magnet dari *Reader*, maka data yang tersimpan di *Tag* akan terbaca oleh *Reader*. *Tag* ada dua jenis, yaitu *Tag* yang dilengkapi dengan baterai dan yang tidak dengan baterai.

Penggunaan RFID di lingkungan manufaktur diawali di pengelolaan logistik dan *supply chain*.

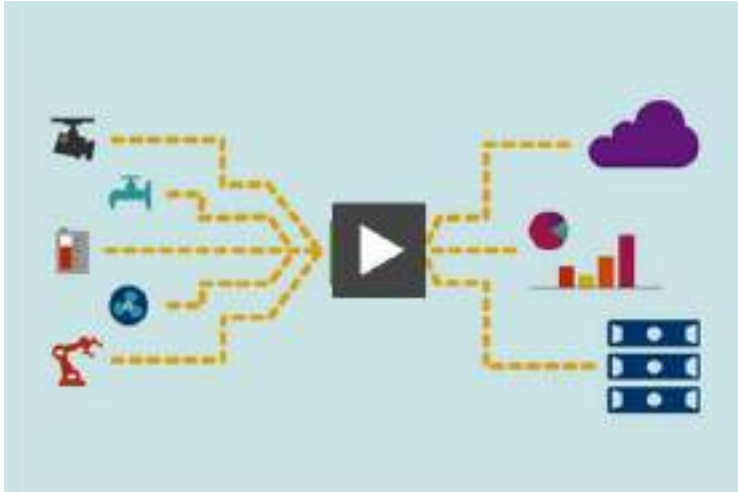


Gambar 1.16  
RFID: (a) *Tag* dan (b) *Reader*

**Edge Gateway.** Data-data yang diperoleh oleh sensor, RFID atau sumber lain dari "*Things*" atau *Operation Technology* (OT) dialirkan dalam satu jaringan terdekat (*proximity network*). Data ini sangat beragam, baik karena jenisnya maupun karena masing-masing vendornya berbeda. Dari data OT ini harus ditransformasikan terlebih dahulu menjadi data yang dapat diolah menjadi informasi dalam sistem IT. Untuk itu dibutuhkan semacam jembatan, itulah yang dinamakan *Edge Gateway*.

Jaringan edge adalah lingkup jaringan yang berada dalam pengendalian pengelola infrastruktur. Sebagai contoh, di dalam korporasi ada LAN baik wireless maupun berkabel, dengan satu atau beberapa pusat data. Jaringan juga dapat mencakup WAN yang menghubungkan cabang-cabang yang jauh.

Jadi *Edge Gateway* adalah jembatan bukan hanya antara OT dan IT tetapi juga dengan jaringan yang lebih luas, yang dalam arsitektur IIRA, dinamakan *Platform Tiers*, salah satu contoh lihat Gambar 1.17.



Sumber: <https://www.dell.com/en-us/work/shop/gateways-embedded-computing/sf/edge-gateway>

Gambar 1.17  
*Dell Edge Gateway Untuk IoT*

Untuk dapat merancang *Edge Tier* ini, di samping informasi tentang sensor cerdas, juga diperlukan informasi tentang perangkat keras dan perangkat lunak dari *IoT Edge Gateway*. *Postscapes* telah menyediakan data dan evaluasi pada semua vendor yang terlibat, lihat <https://www.postscapes.com/iot-gateways/>

Secara umum pihak penyedia bagi *IoT Edge Gateway* dapat dibagi tiga kelompok:

1. Penyedia perangkat keras (*hardware*) antara lain Dell, Cisco, HewlettPackard, Huawei, dan Adlink.
2. Penyedia Perangkat Lunak (*software*) dan *Edge Analysis* antara lain Kura, UbiWorx, ProSyst, Cisco, Bitstew, dan FgdHorn.
3. Penyedia perangkat *end-to-end* antara lain Eurotech, Sierra Wireless, Samsung, dan AdvanTech.

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 1.18



Gambar 1.18  
Pemetaan Vendor IoT *Edge Gateway*

**Edge Computing – fog computing.** Di dalam *edge gateway* ada perangkat lunak yang dinamakan *edge computing*. Perkembangan *edge computing* ini sejalan dengan perkembangan pemakaian IoT dan *handphone* yang makin meluas yang mengakibatkan pertumbuhan komunikasi data dan informasi meningkat tajam. Bila semua data dan informasi yang diperoleh dari OT disalurkan langsung ke komputer sentral, dapat mengakibatkan sistem mandek, kelebihan beban, lihat Gambar 1.19

Oleh karena itu sebagian beban komputasi di sentral didistribusikan ke *edge*. Dengan demikian melahirkan, mengumpulkan, dan menganalisa data dilakukan di *edge* dan bukan di komputer sentral. Karena analisa dilakukan di satu tempat dengan pengumpulan hasil analisisnya dapat diperoleh seketika. Waktu tunda antara saat pengumpulan data dan saat penerimaan

hasil analisisnya menjadi sangat singkat. Inilah manfaat utama dari *fog computing*.



Sumber: <https://hackernoon.com/edge-computing-a-beginners-guide-8976b6886481>

Gambar 1.19  
Posisi *Edge Computing*

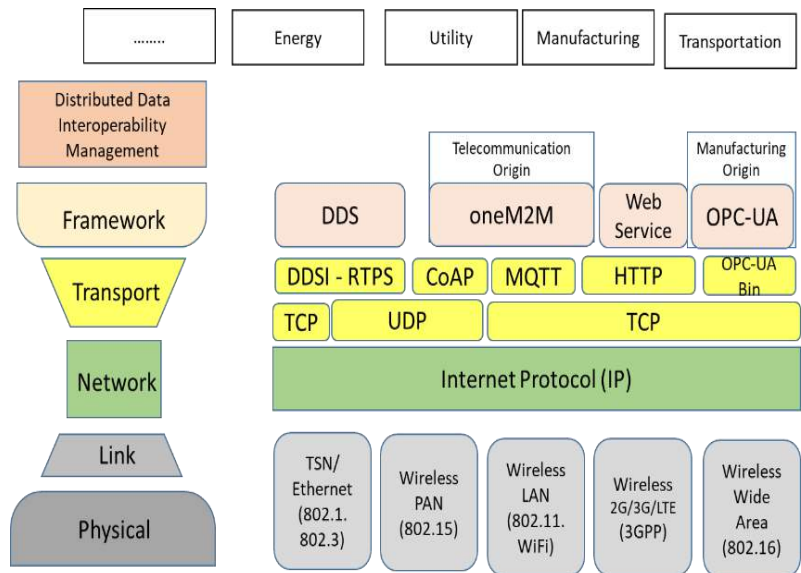
### Contoh Penggunaan *Fog Computing*

1. Mobil otonom (tanpa supir), walau mobil ini terkoneksi dengan komputer sentral, namun untuk manufer-manufer di jalanan dikerjakan di komputer lokal yang melekat pada mobil tersebut. Pertimbangannya adalah, waktu perjalanan data dari sensor ke komputer sentral mencapai 100 millidetik. Bila kecepatan mobil 70 km/jam, waktu 100 millidetik telah dapat mengakibatkan kecelakaan fatal.
2. Pengelolaan Angkutan (*fleet management*). Alasannya hampir sama dengan mobil otonom, namun penyebabnya adalah dalam lokasi pool kendaraan koneksi internet agak terganggu, padahal sering diperlukan keputusan-keputusan yang bersifat manufer.

3. Pemeliharaan Preventif. Sensor mengirimkan data kondisi mesin secara real time ke komputer *fog* diolah untuk mendeteksi apakah terjadi anomali atau tidak. Dengan demikian operator sudah dapat mengetahui anomali ini sebelum terjadi kerusakan.

### 1.3.6. Konektifitas dan Protokol

Sistem IoT yang terbangun tidak akan dapat bekerja bila tidak terkoneksi dengan baik yaitu tersambung sesuai dengan protokol. Konsorsium IIoT membuat framework untuk koneksi IoT di industri, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.20, (Lin, et al, 2017).



Sumber: Joshi & Didier (2018)

Gambar 1.20  
Kerangka kerja Koneksi IoT di Industri dari IIC

Koneksi IoT di industri dibagi dalam 5 *layer* yakni: (1) *physical*; (2) *link*; (3) *network*; (4) *transport*; dan (5)



*framework*. Berikut ini akan dijelaskan secara umum jaringan masing-masing *layer*, menurut Joshi dan Didier (2018):

- *Physical*. Dalam jaringan di *layer* terbawah ini terjadi pertukaran sinyal fisik seperti sinyal elektrik, optik, dll melalui media fisik (dengan kabel atau *wireless*) yang menghubungkan peserta dalam jaringan.
- *Link*. Pada *layer* ini terjadi pertukaran frame dengan menggunakan protokol persinyalan pada sambungan fisik yang digunakan bersama antara peserta yang bertetangga.
- *Network*. Pada *layer* ini terjadi pertukaran paket (dengan panjang yang terbatas), dengan kemungkinan mengedarkan (*routing*) paket ini pada sambungan ganda (*multiple links*) dalam berkomunikasi antar peserta yang berjauhan (*remote participants*).
- *Transport*. Pada *layer* ini terjadi pertukaran pesan (*message*) yaitu paket dengan panjang yang bervariasi antar aplikasi peserta.
- *Framework*. Pada *layer* ini terjadi pertukaran data yang sudah terstruktur (*state, events, streams*) dengan kualitas layanan yang dapat dikonfigurasi antar aplikasi peserta.
- Di atas ini bukan lagi cakupan konektifitas, merupakan data terdistribusi yang *inter-operability* dan *layer* manajemen dengan fungsi *cross cutting* dan mengandalkan mekanisme data sharing yang disediakan oleh *layer framework* yang di bawahnya.

Masing-masing *layer* ini di dalam jaringannya menggunakan protokol agar dapat berkomunikasi. Misalnya, untuk *layer framework*, menggunakan protokol: (1) DDS, *data distributed service*; (2) one M2M (*machine to machine*); (3) *Web Service*; dan (4) OPC-UA, *open platform communication – united architecture*. Untuk *layer transport* digunakan: (1) UDP, *universal datagram protocol*; (2) TCP, *transmission*

*control protocols; (3) CoAP, constrained application protocol; dan (4) MQTT, message queuing telemetry transport.*

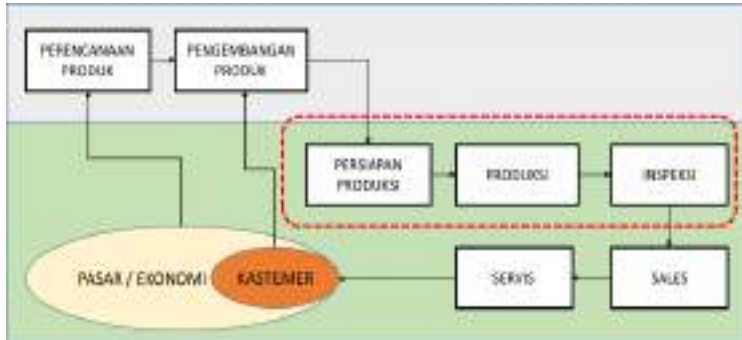
## **BAB 2**

### **SIKLUS MANUFAKTUR**

#### **2.1. Pendahuluan**

Bab ini membahas dimensi kedua dari RAMI 4.0 yaitu tentang daur hidup dan arus nilai (*life cycle and value stream*). Siklus hidup produk dimulai dari produk tersebut dikembangkan dan diproduksi, kemudian digunakan oleh *customer*, dan akhir produk saat tidak dapat dipakai lagi.

Sementara itu, siklus yang dimulai dari ide produk, hingga produk diserahkan ke *customer* oleh *Dixon and Poli* disebut realisasi produk, yang untuk otomotif ditunjukkan dalam gambar 2.1. Siklus ini dimulai dari tahap perencanaan produk dan pengembangan produk. Tahap berikutnya produksi yang didahului oleh persiapan dan diakhiri dengan inspeksi. Setelah itu mobil diserahkan ke *customer*, dan selanjutnya perusahaan melakukan layanan purna jual. Sepanjang daur hidup produk senantiasa membutuhkan lahirnya ide untuk meningkatkan nilai produk, sehingga data, informasi dan pengetahuan menjadi bahan baku utamanya.



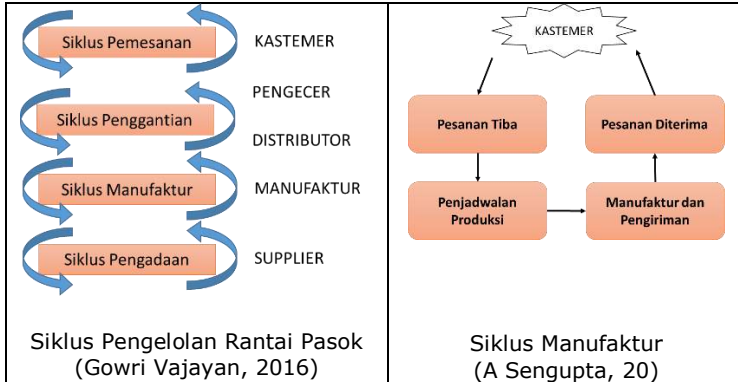
Sumber: Modifikasi dari Toermuedi (2019)

Gambar 2.1  
Diagram Siklus Realisasi Otomotif

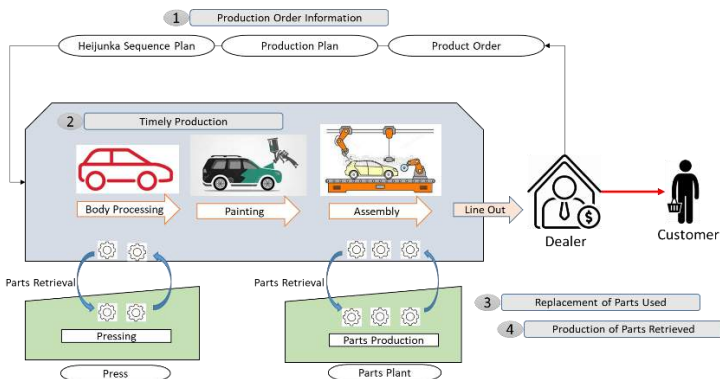
## 2.2. Siklus Manufaktur

Siklus hidup produk otomotif yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 terdiri dari tiga tahapan besar yaitu: (1) proses pengembangan produk; (2) proses produksi; dan (3) penjualan dan layanan purna jual. Entitas bisnis untuk melaksanakan penjualan dan layanan purna jual umumnya sudah berbeda. Sehingga pada pembahasan berikutnya, difokuskan pada tahap pengembangan mobil baru dan tahap produksi.

Pengembangan satu model otomotif berlangsung lama, diukur dengan *time to market* yang berkisar antara 4 sampai dengan 5 tahun. Sementara itu, lini produksi berjalan dengan siklus yang lebih singkat yaitu sekitar 4 bulan untuk memenuhi pesanan *customer*. Gowri Vijayan dkk (2016) membagi pengelolaan rantai pasok dalam 4 siklus, yaitu pengadaan, manufaktur, penggantian dan pemesanan, dimana siklus manufaktur dimulai dari saat perusahaan menerima order dari *customer* dan berakhir saat order diterima *customer*, lihat Gambar 2.2 (Sengupta A).



Gambar 2.2  
Siklus Manufaktur dalam Pengelolaan Rantai Pasok



Sumber: Dimodifikasi dari <http://nimblebydesign.com/index.php/2016/10/02/why-do-devops/>

Gambar 2.3  
Siklus Manufaktur Industri Otomotif

Siklus manufaktur industri otomotif yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3 dimulai dengan adanya pesanan produk (*product order*) dari *customer*, kemudian oleh *dealer* dijadikan menjadi pesanan produksi (*production order*) yang disampaikan ke perusahaan manufaktur

otomotif. Atas dasar pesanan produksi ini perencana manufaktur menyusun rencana produksi (*production plan*) dan urutan rinci pengerjaan produksinya (*heijunka sequence plan*).

Tahap kedua adalah pelaksanaan produksi yang diatur tepat waktu (*timely production*) yang dimulai dengan pembuatan *body* mobil (*body processing*) kemudian pengecatan *body* (*painting*) dan perakitan (*assembly*).

Tahap ketiga yaitu penggantian *part* yang dipakai (*replacement of parts used*) dengan cara *retrieve* dari *plant* lain. Hal ini terjadi pada saat pembuatan bodi mobil yaitu *retrieve part* dari *pressing plant* dan pada saat perakitan (*assembly*) yang *retrieve parts* dari *parts plant*.

Tahap keempat, produksi komponen pengganti yang sudah diambil *plant* utama (*production of parts retrieved*). Proses ini terjadi baik di *pressing plant* maupun di *parts plant*.

Setelah selesai mobil diluncurkan ke luar pabrik (*line out*) menuju *dealer* untuk disampaikan ke *customer*.

### **2.3. Teknologi Industri 4.0**

Siklus pengembangan produk sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.1 dilakukan dalam dua tahapan yaitu perencanaan produk dan pengembangan produk. Perencanaan produk dimaksudkan untuk menyusun dokumen yang menunjukkan bahwa perusahaan perlu membuat mobil baru. Pekerjaan utama dalam pengembangan produk adalah menjaring *Voice of Customer* agar dapat merumuskan kebutuhan *customer* yang akan dipenuhi oleh mobil yang dikembangkan. Tahap berikutnya adalah perancangan mobil mulai dari pembuatan konsep hingga

perancangan teknis. Selanjutnya, prototip mobil yang akan diproduksi dibuat untuk dapat diuji.

Sedangkan siklus manufaktur dimulai dari persiapan produksi, produksi, dan diakhiri inspeksi. Persiapan produksi mencakup perancangan layout produksi serta alur pekerjaan, perancangan atau pemesanan perkakas pembantu (*tooling*), *jig*, *fixture*, dll. Termasuk pemesanan komponen atau *subassembly* khusus dari penyedia.

Dalam semua tahapan di atas, teknologi kunci Industri 4.0 dapat terlibat dan berkontribusi. Tabel 2.1. memaparkan peta penggunaan teknologi kunci Industri 4.0 dalam siklus produk dan siklus manufaktur industri otomotif.

**Tabel 2.1**  
**Peta Penggunaan Teknologi Industri 4.0**

No	Industry 4.0 Technologies	Autonomous System	Internet of Things	3D Simulation Tool	Cyber Security	Horizontal and Vertical System Integration	Cloud Computing	Additive Manufacturing	Big Data Analysis	Augmented Reality
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Perencanaan Produk				Keamanan Data dan Jaringan				Analisa pasar, produk pesaing	
2	Pengembangan Produk	Voice of Customer			Keamanan Data dan Jaringan	Integrasi Pengaturan dan Jaringan Informasi			Identifikasi kebutuhan kastemer	
		Disain Produk		Simulasi part, subassembly, dan fungsinal produk			Collaborative Product Design	Mencari solusi teknis		
		Prototip						Rapid prototyping 3D Printer		
3	Persiapan Produksi			Simulasi aliran produksi					Optimasi Rencana Produksi	
4	Produksi	Pembuatan Bodi Mobil	Robot las, AGV	Smart Manufacturing	Kembaran Dijital (Digital Twin)	Keamanan Data dan Jaringan	Integrasi Pengaturan dan Jaringan Informasi	Digital manufacturing	Optimasi produksi	Problem solving in production
		Pengelasan	Robot cat, AGV							
		Perakitan	Robot rakit, AGV							
		Pressing Plant								
		Part Production Plant								
5	Inspeksi		Automatic Inspection Systems		Keamanan Data dan Jaringan				Engineering and Functionality Inspection	
							Cloud Part Manufacturing	High End Car Part Production		

Pada bagian berikut akan diuraikan teknologi Industri 4.0 yang saat ini sudah banyak digunakan, antara lain: (1) simulasi tiga dimensi (*3D simulation*), termasuk teknologi kembaran digital (*digital twin*); (2) *additive manufacturing*; (3) *big data*; dan (4) komputasi awan (*cloud computing*).



### 2.3.1. Simulasi Tiga Dimensi

Simulasi tiga dimensi untuk manufaktur melahirkan istilah manufaktur digital untuk digunakan melakukan "What If Simulation" (Sehyun Myung, 2003). Manufaktur digital mencakup teknologi pembuatan purwarupa virtual (*virtual prototyping*), analisa ergonomik, simulasi robot, pemrograman secara *offline* (*off line programming*, OLP) untuk *arc welding*, *spot welding*, *painting*, *material handling*, simulasi *numerical control* secara virtual, simulasi kejadian diskrit (*discrete event simulation*), proses perencanaan secara digital, inspeksi digital, dan perancangan dan monitoring PLC (*programmable logic controller*), lihat Gambar 2.4.



Sumber: <https://sde.vn/blogs/product/tecnomatix>

Gambar 2.4.  
Manufaktur Digital sebagai Alat Simulasi

Salah satu penghasil aplikasi simulai tiga dimensi digital adalah Siemens dengan produk Tecnomatix<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>

Di samping simulasi proses produksi, produk sendiri juga butuh simulasi untuk dapat mengetahui kinerja produk ini saat penggunaan. Hampir semua CAD melalui paket *Computer Aided Engineering (CAE)* menyediakan kemampuan simulasi untuk produk yang dirancang. Sebagai contoh Gambar 2.5 menunjukkan simulasi dalam *Solidworks*.



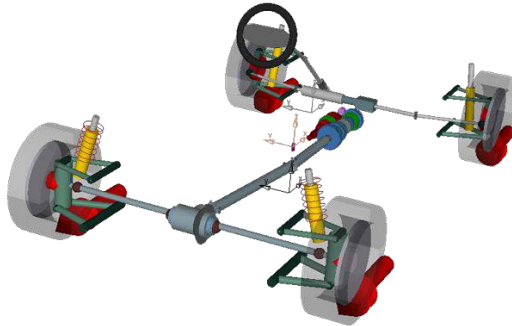
Gambar 2.5  
Simulasi *Mixed Mesh Mode* dari *Solidworks*

*Simulation X* dari ESI – Paris menawarkan perangkat lunak yang mampu melakukan simulasi untuk:

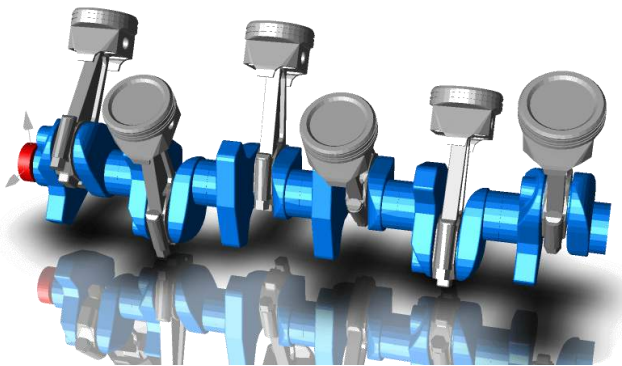
1. Menguji dan mensimulasikan berbagai *functionality* saat pengembangan produk baru;
2. Mensimulasikan kebutuhan dan trend perkembangan pasar di bidang otomotif;
3. Mensimulasikan pengelolaan mutu saat pengembangan mobil baru;
4. Mensimulasikan berbagai solusi teknis dari konsep mobil yang dikembangkan;
5. Memodelkan dan mensimulasikan secara multifisik untuk mengetahui kehandalan mobil diberbagai kondisi fisik lingkungan;

6. Mensimulasikan berbagai karakteristik *engineering* dari otomotif seperti pengelolaan panas (*heat*); pengelolaan energi; dan *power train*.

Contoh simulasi ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



(a) Simulasi untuk pengelolaan kualitas



(b) Simulasi Kinerja Poros Utama Mesin

Sumber: <https://www.simulationx.com/industries/simulation-automotive.html>

Gambar 2.6  
Simulasi Suspensi dan Poros Mesin

Simulasi tiga dimensi juga sudah digunakan dalam mendesain tata letak pabrik, peta proses (*operation process chart*), tata cara kerja, dan pengendalian kualitas. Contoh Gambar 2.7 simulasi dari *Visual Components*.



Sumber: <https://www.visualcomponents.com/insights/case-studies/kone-case-study/>

Gambar 2.7  
Simulasi Tiga Dimensi Tata Letak Pabrik

Dalam perkembangan berikutnya, simulasi tiga dimensi ini dibuat sebagai kembaran dari produk/produksi nyata, dan dinamakan kembaran digital (*Digital Twin*).

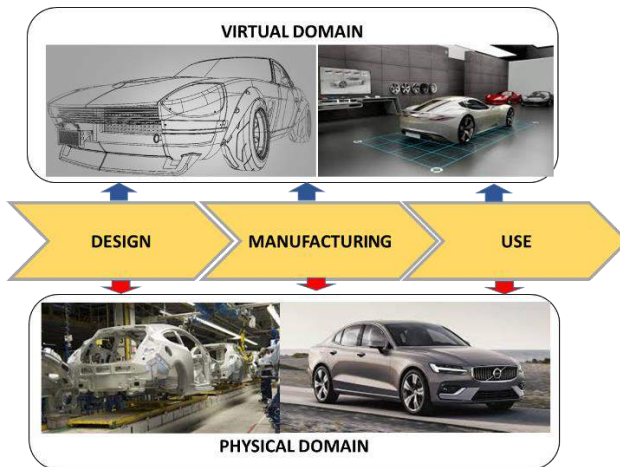
### 2.3.2. Kembaran Digital Produk dan Proses

Kembaran digital didefinisikan sebagai profil digital yang tumbuh dan berubah (*evolving*) dari perilaku objek atau proses secara historis maupun sesaat untuk yang dapat membantu pengoptimalan kinerja bisnis. Teknologi kembaran digital didasarkan atas pengukuran data secara masif, kumulatif dan *real time*, *real word* dalam satu susunan dimensi (*an array of dimensions*). Pengukuran ini menciptakan data

perubahan profil secara historis sehingga mampu memberikan pemahaman mendalam (*insight*) terhadap kinerja untuk digunakan sebagai dasar perbaikan proses manufaktur. Secara sederhana kembaran digital ditunjukkan dalam Gambar 2.8.

Kembaran digital digunakan sebagai:

- Model yang mampu mendeskripsikan proses manufaktur dengan data ter-*update* setiap saat
- Manufaktur digital dapat digunakan memprediksi dan memberi *advice* bagaimana mengadaptasi dengan keadaan baru serta bagaimana memperbaikinya.



Gambar 2.8  
Ilustrasi Kembaran Digital di Industri Otomotif

Oleh karenanya proses manufaktur menjadi:

- *Predictable*: proses manufaktur dapat dirancang secara virtual terlebih dahulu, sehingga kegiatan coba-coba (*trial and error*) di realita dapat dikurangi.

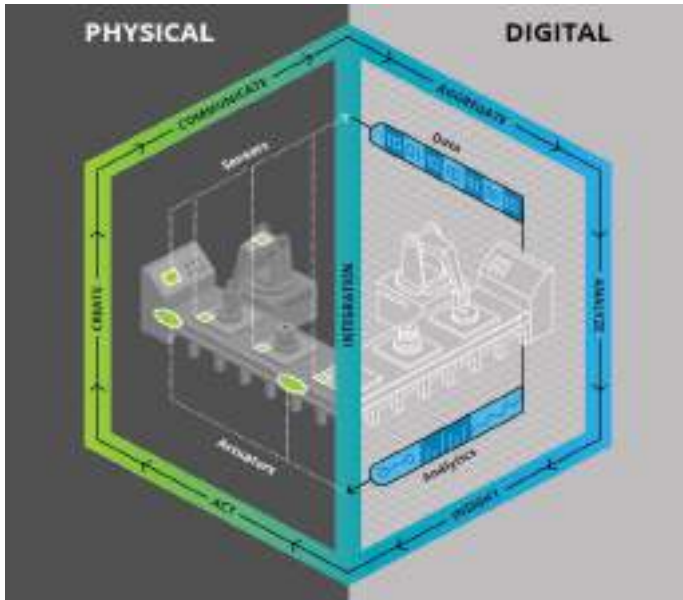
- *Understanable*: faktor utama kualitas proses dapat diketahui sehingga masalah dapat segera diselesaikan.
- *Adaptable*: Ketika input berubah (seperti material, lingkungan, dan desain), proses dapat disesuaikan untuk menjaga kualitas produk.

Sebagai gambaran, berikut ini diuraikan arsitektur kembaran digital dari Deloitte, lihat Gambar 2.9. Model ciptaan Deloitte ini memiliki lima komponen dasar yaitu: sensor dan aktuator dari dunia fisik, integrasi, data, analitik, dan aplikasi kembaran digital yang setiap saat terupdate. Penjelasan lebih rinci dari masing-masing komponen ini adalah sebagai berikut:

- **Sensor.** Sensor-sensor tersebar di seluruh proses manufaktur menghasilkan sinyal yang memungkinkan aplikasi kembaran menangkap data operasi dan lingkungan dari proses fisik dunia nyata.
- **Data.** Data dari sensor kemudian diintegrasikan dan dikombinasikan dari data enterprise seperti *Bill Of Materials* (BOM), sistem *enterprise*, dan data desain. Data dapat juga berupa gambar teknik atau yang bersumber dari luar seperti keluhan pembeli.
- **Integrasi.** Sensor mengkomunikasikan data ke dunia digital melalui teknologi integrasi (yang juga mencakup *edge, communication interfaces*, dan *security*) yang berada diantara dunia fisik dan dunia digital, serta demikian sebaliknya.
- **Analitik.** Teknik-teknik analisa digunakan untuk mengolah data melalui algoritma simulasi dan *visualization routine* yang digunakan kembaran digital menghasilkan pendalaman pemahaman (*insights*).
- **Kembaran Digital.** Sisi digital dari Gambar 1.12 tersebut adalah Kembaran Digital itu sendiri yaitu aplikasi yang mengkombinasikan komponen-komponen di atas menjadi model real time dari dunia fisik. Tujuannya adalah untuk mendeteksi

sedini mungkin terjadinya penyimpangan (*deviation*) dari dunia nyata.

- **Aktuator.** Bila diperlukan, maka kembaran digital dapat menghasilkan tindakan yang dieksekusi oleh aktuator atas intervensi manusia.



Sumber: Deloitte University Press, [dupress.deloitte.com](http://dupress.deloitte.com)

Gambar 2.9  
Model Kembaran Digital dan Proses Manufaktur

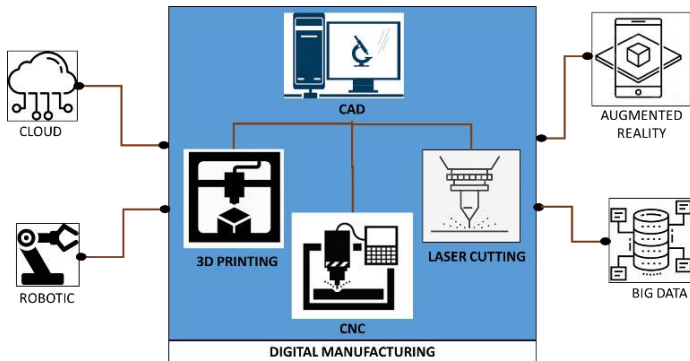
### 2.3.3. Additive Manufacturing

*Additive manufacturing* juga disebut sebagai teknologi yang mentransformasikan dunia digital menjadi benda fisik. Fungsi transformasi yang sama juga dilakukan oleh *Laser Cutting* dan CNC. Sehingga bila digabung, membentuk manufaktur digital dalam arti sebenarnya, yaitu mentransformasikan dunia digital menjadi produk fisik. Selanjutnya *additive manufacturing* akan disebut

dengan teknologi pencetakan tiga dimensi (*3D Printing*).

Sculpteo (2017) menguraikan manufaktur digital akan menjadi pengganti teknologi manufaktur yang ada saat ini. Menurut Sculpteo, teknologi ini adalah pendekatan terintegrasi dalam manufaktur dan berpusat pada sistem komputer. Mesin dapat membaca file CAD (*computer aided design*) dari suatu rancangan produk, kemudian komputer membuatnya. Dalam proses yang sama manufaktur digital sering digunakan untuk membuat purwarupa (*prototype*), namun tidak hanya itu, manufaktur digital ini juga digunakan memproduksi barang di samping memfabrikasi cetakan (*mold*).

Manufaktur digital model *Industry Week* ini tepat digunakan untuk memproduksi barang dengan jumlah yang sedikit dan bahkan dengan batch produksinya dapat hanya satu produk. Ekosistem manufaktur digital menurut *Industry Week* ini ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10  
Manufaktur Digital sebagai Unit Produksi



Teknik produksi kunci dalam manufaktur digital ini terdiri dari: (1) CAD; (2) *Additive manufacturing* (3D Printing); (3) *Laser Cutting*; dan (4) *Computer Numerical Control (CNC) Machines*. Unit produksi ini didukung oleh penggunaan robot, *cloud computing*, *big data*, dan *augmented reality*.

*Additive Manufacturing* (AM) berbeda dengan teknologi proses dengan mesin bubut, gerinda, dan *milling* yang bekerja dengan mengeluarkan material dari raw stock membentuk part (*material rremoval processes*), maka AM membentuk part mulai dari lapis yang paling bawah secara perlahan naik ke lapir teratas hingga bentuk part selesai (*additive process*). Pada awalnya, AM digunakan di laboratorium saat membuat prototipe, sehingga juga disebut *Rapid Prototyping Technology*.

Teknologi AM yang sekarang banyak digunakan adalah:

1. *Stereo Lythography* (**SLA**);
2. *Selective Laser Sintering* (**SLS**), *variantnya* adalah **DMLS** = *Direct Metal Laser Sintering*;
3. *Laminated Object Manufacturing* (**LMO**);
4. *Fused Deposite Modelling* (**FDM**); dan
5. *Solid Ground Curing* (**SGC**).

Di industri otomotif teknologi AM digunakan untuk membuat *part* atau komponen yang akan berfungsi sebagai berikut:

- 1 *Communication* Pada tahap desain, perlu ada model yang digunakan untuk mengkomunikasikan rancangan ke semua pemangku kepentingan, terutama di industri otomotif, *mock-up* rancangan sangat membantu mendapat persetujuan eksekutif.
- 2 *Validation* Membuat prototipe casing kaca spion dan dashboard dapat dilakukan cepat dengan menggunakan teknologi FDM. Dengan demikian perancang dapat memvalidasi keberfungsian.
- 3 *Pre-production* Untuk *part* yang akan diproduksi dengan *injection molding*, langkah kritis adalah membuat *tooling* yaitu *dies* yang umumnya dengan volume yang sangat kecil. Teknologi AM dapat memenuhinya segera.
- 4 *Production* Untuk mobil-mobil *mass-market*, volume produksi komponen dapat mencapai 100 ribu. Untuk ini, teknologi AM tidak layak secara ekonomi. Namun untuk mobil *high-end* yang jumlahnya sangat sedikit dan biasanya diproduksi manual, maka teknologi AM akan sangat tepat.
- 5 *Customization* Bila ada pemilik kendaraan hendak melakukan penyesuaian model dan mengorder *part* tertentu dengan jumlah satuan, maka teknologi AM digunakan secara ekonomis.

Bill Artley dalam artikelnya *Automotive 3D Printing Applications* menjelaskan teknologi dan material yang tepat digunakan untuk komponen otomotif, yang disarikan dalam Tabel 2.2.

Table 2.2  
Teknologi dan Material untuk *Additive Manufacturing*

Application	Process	Material	Feature	Example
Under the hood	SLS	Nylon	Heat resistant functional parts	Battery cover
Interior accessories	SLA	Resin	Customized cosmetic components	Console prototype

Application	Process	Material	Feature	Example
Air ducts	SLS	Nylon	Flexible ducting and bellows	Air conditioning ducting
Full scale panels	Industrial SLA	Resin	Large parts with a surface finish comparable to injection molding that allow for sanding and painting	Front bumper
Cast metal brackets & handles	SLA & cast	Wax	Metal parts made from 3d printed patterns	Alternator mounting bracket
Complex metal components	DMLS	Metal	Consolidated, lightweight, functional metal parts	Suspension wishbone
Bezels	Material jetting	Photo-polymer	End use custom screen bezels	Dashboard interface
Lights	SLA	Resin	Fully transparent, high detail models	Headlight prototypes

Sumber: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/>

### Perangkat lunak untuk pencetakan tiga dimensi.

Sebagaimana disebutkan diatas, teknologi AM melakukan konversi dari data digital ke benda fisik. Sehingga data digital produk yang hendak dihasilkan sudah ada terlebih dahulu, dalam CAD file. Dari gambar CAD ke alat AM ada *software* yang menjembatani, dinamakan *software 3D Printing*, yang memiliki komponen berikut:

1. **STL** (*Standard Triangle Language*), untuk mendeskripsikan permukaan melalui set segitiga;
2. **X3D** yaitu format file standar bebas-royalti yang digunakan untuk menampilkan adegan 3D dan objek menggunakan XML;
3. **VRML** (*Virtual Reality Model Language*) standard, untuk menampilkan gambar objek tiga dimensi dalam *world wide web*.

Penyedia *software* ini umumnya menyatu dengan penyedia *software* CAD, seperti:

- *Autodesk*, menawarkan *Netfabb* yaitu *software* yang mempersiapkan sebuah file untuk 3D Printing. *Netfabb* memungkinkan pengguna mengkonversi model 3D menjadi model yang geometriaknya lebih kompleks seperti *lattice* namun tetap memelihara integritas struktur dari model 3Dnya. *Autodesk* juga menawarkan *Dreamcatcher* yaitu *software* desain. *Dreamcatcher* dapat menciptakan lusinan model dengan geometrik yang kompleks sehingga dapat dipilih mana yang paling cocok.
- *Materialize* yang langsung kerjasama dengan fabrikasi printer tiga dimensi. Perusahaan ini menyediakan *driver* untuk printer (Build Processor) yang mengelola pekerjaan printing mulai dari penyiapan file hingga otomasi robot yang mengerjakannya.
- *Stratasys*, sangat dikenal sebagai pemain utama dalam pasar *3D Printing* di industri otomotif.
- *Solidworks* dari Dassault Systems, juga sangat aktif di pasar industri otomotif;
- Siemens dengan produk *Solidworks* dan NX, *Solidworks* adalah *software* desain tiga dimensi, sedangkan NX untuk mempersiapkan manufaktur;
- PTC dengan produk *Creo* menawarkan *software* desain tiga dimensi dan juga untuk manufaktur.

Walau popularitasnya sedang naik, namun ada juga pihak yang belum yakin benar akan teknologi ini. Fabian Wanke dan Will Hastings (2019) menyatakan bahwa AM belum akan mampu menggantikan teknik produksi konvensional. Alasannya adalah AM masih punya PR dalam hal produktivitas dan jaminan kualitasnya. Otomasi dalam teknologi ini masih sangat terbatas sehingga tidak ada jaminan stabilitas proses.

### 2.3.4. *Big Data* dan Siklus Hidup Produk

Dimensi kedua dari RAMI 4.0 adalah tentang daur hidup dan arus nilai (*life cycle and value stream*). Proses penciptaan nilai dimulai dari ide kemudian menjelma menjadi produk yang selanjutnya diproduksi, digunakan konsumen, lalu mati. Sepanjang daur hidup ini senantiasa membutuhkan lahirnya ide untuk meningkatkan nilai produk. Data, informasi dan pengetahuan menjadi bahan baku proses penciptaan nilai tersebut. Itu sebabnya, pada dimensi ini disebut bahwa semakin awal data dikumpulkan semakin tinggi arus nilai yang dapat terjadi.

Untuk dapat mengidentifikasi bagaimana data, informasi dan pengetahuan menciptakan nilai, maka daur hidup produk dibagi dalam tiga periode, yaitu:

1. Awal Kehidupan, *Beginning of Life (BOL)*, pada periode ini konsep produk diciptakan, kemudian produk diwujudkan dalam bentuk fisik;
2. Tengah Kehidupan, *Middle of Life (MOL)*, pada periode ini produk didistribusikan, digunakan oleh pembeli, dipelihara, dan diperbaiki oleh teknisi;
3. Akhir Kehidupan, *End of Life (EOL)*, pada periode ini produk dibuang atau diolah kembali.

Masa awal kehidupan produk (BOL) dibagi dalam dua fase yaitu desain dan produksi. Fase desain terdiri dari analisis marketing dan desain produk. Sementara itu, fase produksi mencakup pengadaan, manufaktur, dan pengelolaan peralatan/permesinan.

Masa tengah kehidupan produk (MOL) mencakup tiga fase yakni fase logistik, *utility*, dan pemeliharaan. *Big Data* berperan besar dalam pengelolaan pergudangan, transportasi produk, pelatihan produk, dan pendukung produk, serta dalam baik pemeliharaan yang bersifat preventif maupun prediktif.

Masa akhir hidup produk (EOL) *Big Data* dipakai untuk membantu pengelolaan logistiknya.

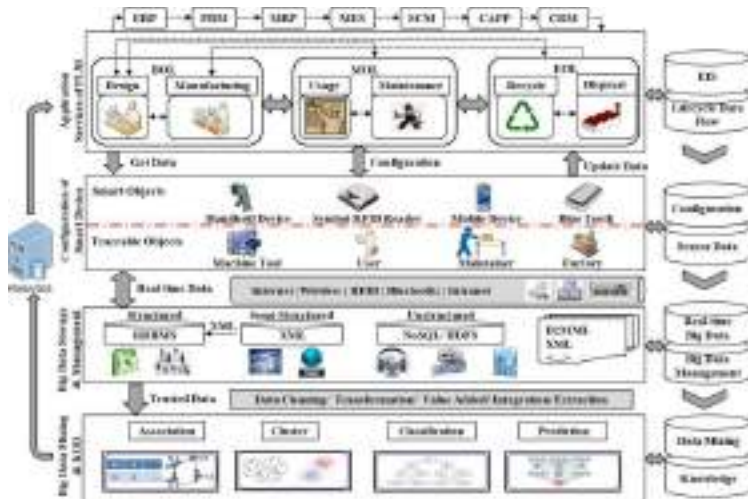
Secara garis besar Tabel 3.2 memuat daftar kegiatan atau tahapan dalam PLM yang memerlukan Big Data.

Tabel 2.3  
Peran Big Data Dalam PLM

Life Cycle	Value Chain	Function	Role of Big Data
BOL	Design	Marketing	Figuring out Who Are Promising Customer
			Discerning Customer Needs for Product
		Product Design	Turning the Needs into Specific Function
			Presenting Solution to Meet the Design Requirement
	Making Final Decision on Detail of Product		
	Production	Procurement	Choosing Qualified Supplier
			Determining Outsourcing Policy
		Product Manufacturing	Monitoring Product Quality
			Simulation and Testing of Product
		Equipment Management	Estimating Equipment Wear
Increasing Equipment Energy Efficiency			
MOL	Logistics	Warehouse Management	Order Process
			Inventory Management
		Product Transport	Tracing Product
	Utility	Customer Service	Green Transport Planning
			Training
		Product Support	Online Enquiry
	Maintenance	Preventive	Product Regular Inspection
			Product Quality Realtime Monitoring
	Corrective	Fault Detection and Degradation Monitoring	
		Establishing the Maintenance System	
EOL	Recycle	Product Recovery Decision	Predicting Remaining Lifetime of Parts/Components
			Product Recovery Optimization
			Enhancing Resource Saving Recycling Activities

Sumber: Diadopsi dari Jingran Li, dkk. (2015)

Zhang Yingfeng dan Ren Shan (2015) merancang kerangka kerja *Big Data Based Analysis for Product Lifecycle* (BDA-PL) sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11



Sumber: Zhang Yingfeng dan Ren Shan (2015)

Gambar 2.11  
*Big Data based Analysis for Product Lifecycle* (BDA-PL)

Komponen dari BDA-PL adalah sebagai berikut:

- Layanan aplikasi PLM (*application service of PLM*). Layer ini digunakan untuk menyediakan aplikasi secara real time berdasarkan pengetahuan dan data yang tergal dari layer yang paling bawah. Layer ini dianggap sebagai layanan tertinggi dari PLM.
- Penggalan *big data* dan pengintegrasian (*big data acquisition and integration*). Sesuai konfigurasi perangkat cerdas di dalam mesin-mesin manufaktur dan produk, *big data* dapat diraba (*sensed*) dan ditangkap secara *real time* dan dengan daur hidup yang lengkap.
- Penyimpanan dan pengelolaan *big data* (*big data storage and management*). Data daur hidup terdiri

dari data terstruktur, semistruktur, dan data tidak terstruktur. *Distributed Data Base System* (DDBS) digunakan menyimpan dan mengelola data data yang terstruktur, XML untuk data semi terstruktur, dan *Hadoop Distributed File System* (HDFS) untuk data yang tidak terstruktur.

- Penggalan *big data* dan penemuan pengetahuan (*big data mining and knowledge discovery*). Dengan menggunakan teknik data mining pengetahuan berharga dapat dicari dari data *lifecycle*. Dengan mengkombinasikan sistem data produk dan pengelolaan pengetahuan (PDKM) dengan sistem pendukung keputusan (*decission support system, DSS*) membentuk mekanisme *loop* tertutup dari sharing pengetahuan dan umpan balik.

Dibandingkan dengan PLM yang ada sekarang, BDA-PL memiliki kelebihan dalam hal adanya persepsi aktif dari mesin-mesin manufaktur, pemantauan real time status produk, penemuan nilai dari big data, serta optimasi dinamis dari PLM itu sendiri.

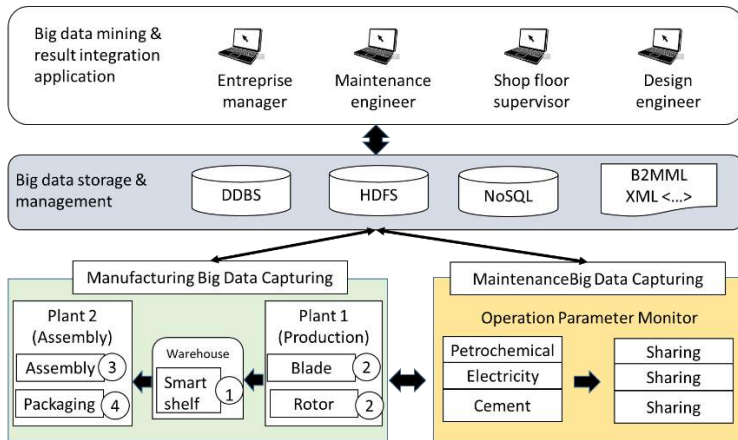
### **2.3.5. Aplikasi *Big Data***

Sebuah perusahaan manufaktur memproduksi kompresor aksial dan juga menyediakan jasa ke pembeli, dengan perkataan lain perusahaan ini tidak menjual produk tetapi lebih jauh lagi yaitu fungsinya, sama seperti usaha *sharing* atau *leasing*. Data tentang status kompresor dikumpulkan secara real time dan dipantau dari tempat yang jauh (*remote*). Data yang diperoleh digunakan untuk mendesain yang baru, optimasi produksi, dan untuk pemeliharaan terprediksi (*predictive maintenance*).

Gambar 2.12 bagian kiri bawah menggambarkan pabrik yang terdiri dari dua *plant* (*manufacturing & assembly*) dan gudang (*warehouse*) dan yang kanan bawah menggambarkan tempat kompresor dipakai (industri



petrokimia, industri listrik dan industri semen), dan tentu sharing kompresor (jual fungsi) sehingga keseluruhan adalah sistem *manufacturing, maintenance dan process* (MMP).



Sumber: Zhang Yingfeng dan Ren Shan (2015)

Gambar 2.12  
Bagan MMP dari Studi Kasus

Akuisisi data dari produk dan dari *operation technology* atau OT (*resources*) dilakukan melalui perangkat cerdas atau *product embedded information devices* (PEID) seperti RFID reader, tag dan sensor. Inilah basis diperolehnya data secara *realtime*. Untuk mengetahui jumlah *work in progress* (WIP) maka RFID reader dapat ditempatkan pada pintu masuk *plant manufacturing* dan pintu keluar *plant assembly*.

Ketika palet tiba di mesin, *event* ini terekam oleh UHF RFID reader yang diinstal di mesin tersebut. Selanjutnya, *reader* ini mencek material yang diperlukan sesuai dengan informasi dalam tag akan proses yang diperlukan. Bila material telah tersedia, maka tugas dapat dieksekusi. *Part* yang kritis yang

sudah dipasang tag, dapat termonitor pengerjaannya di mesin ini. Demikian juga dengan sensor pengukur kecepatan aliran (*flow rate*), sensor pengukur getaran (*vibration*), dan sensor pengukur suhu gas (*temperature*) mengirimkan datanya setiap saat. Jenis PEID dan penggunaan ditunjukkan dalam Tabel 2.4

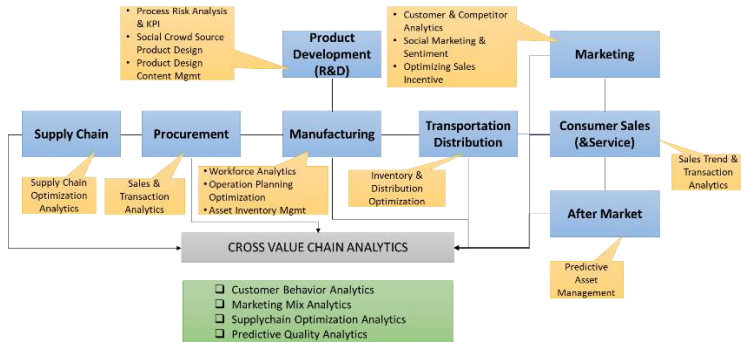
Tabel 2.4  
Penggunaan PEID di *Shop Floor*

PEIDs	UHF/Sensor	Resources / Location	Objective
RFID reader	UHF	Machine	Track the pallets.
RFID reader	UHF	Assembly line	Check in materials and report assembly tasks.
Tag	UHF	Pallet	Track the information of pallet with materials.
Tag	UHF	Critical parts	Track the real-time data from WIP to product.
Sensor	Differential pressure sensors	Convergence device	Monitor flow rate of gas
Sensor	Piezoelectric velocity sensors	Both ends of rolling bearing	Monitor vibration of rotor
Sensor	Temperature sensors	Embedded in blades and rotor	Monitor temperature of gas

Sumber: Zhang Yingfeng dan Ren Shan (2015)

### 2.3.6. **Big Data Analysis Di Industri Otomotif**

Mike Woodward dan tim dari Deloitte LLP mengatakan bahwa dengan menggunakan metoda analisa yang canggih dan mutakhir di sepanjang rantai nilai manufaktur terbukti meningkatkan arus nilai bagi perusahaan. Kerangka analisis di sepanjang rantai nilai industri otomotif disusun seperti dalam Gambar 2.13.



Sumber: Mike Woodward (2015)

Gambar 2.13  
Kerangka Analisis Sepanjang Rantai Nilai  
Manufaktur Otomotif

Analisa yang terlibat dalam rantai nilai tersebut diarahkan untuk meningkatkan arus nilai melalui penjualan dan kepuasan pelanggan, yang terbagi dalam 4 topik:

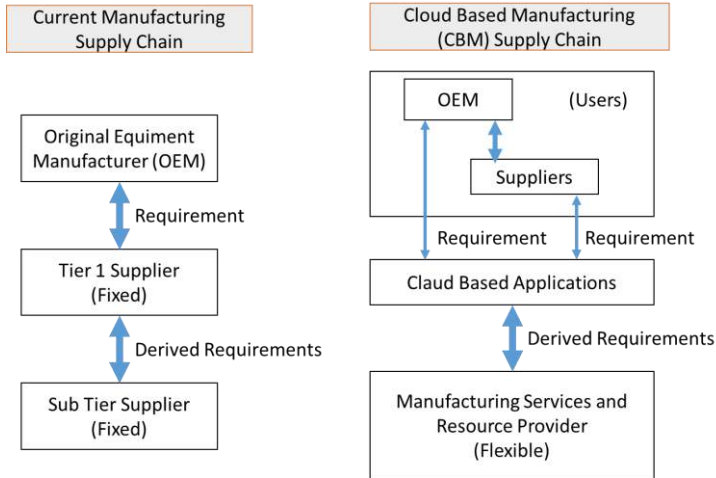
1. *Analisis Perilaku Pelanggan.* Perusahaan membuka koneksi 24 jam/hari 7 hari seminggu (24/7) ke pelanggan dan masyarakat umum, di samping itu perusahaan juga mengandalkan informasi dari sosial media. Data dari dealer juga menjadi sumber yang signifikan. Analisis diarahkan untuk menghasilkan informasi tentang: potensi dari masing-masing segmen pasar, menargetkan pelanggan baru sementara menjaga loyalitas pelanggan lama, dan menjaga agar pelanggan yang ada tidak pergi ke tempat lain.
2. *Analisis Pengelolaan Pengeluaran Marketing.* Analisis ini untuk menentukan marketing mix yang optimal.

3. *Analisis Rantai Pasok Global*. Analisis ini untuk memperoleh pengelolaan risiko yang optimal mendorong pertumbuhan.
4. *Analisis Prediksi Kualitas Produk*. Analisis ini untuk dapat mengelola *recall* bila diperlukan. Data-data historis dianalisis dengan metoda yang tepat untuk memperkirakan bagian mana yang rusak, dan diputuskan apakah perlu melakukan *recall* atau tidak.

### **2.3.7. Komputasi Awan di Industri Otomotif**

*Cloud Computing* akan mengubah struktur bisnis manufaktur. Bila di era sekarang, *Original Equipment Manufacturer* (OEM) memiliki hubungan fix dengan pemasok *Tier 1* dan demikian juga hubungan antara Pemasok *Tier 1* dengan Pemasok *Tier* selanjutnya juga fix. Hubungan ini diikat dengan ikatan bisnis yang legal.

Di era *cloud computing* akan berkembang usaha manufaktur berbasis komputasi awan ini yang dinamakan *Cloud Manufacturing* (CM). OEM dan *Supplier* berada di pihak yang sama yaitu sebagai user terhadap komputasi awan ini. Semua kegiatan mulai dari mendesain produk dimasa BOL hingga ke masa EOL akan menggunakan jasa Cloud. Melalui Cloud juga, OEM ini akan mencari penyedia jasa manufaktur, yaitu pemilik sumber daya fisik (*Physical Resources Providers*, PRPs). Atas dasar *requirement* yang diperoleh dari *cloud*, PRP akan memproduksi produk sesuai permintaan OEM, lihat Gambar 2.14.



Sumber: Wu D, et al.(2013)

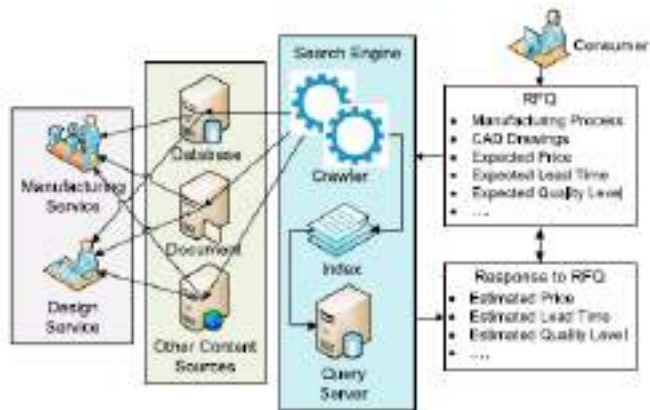
Gambar 2.14  
Rantai Pasok Konvensional dan Rantai Pasok Awan

Dengan demikian, bila selama ini pemilik bengkel (*workshop*) mendapat order secara langsung baik dari OEM maupun dari pemasuk Tier1 atau Tier2, maka dalam skema cloud, bengkel ini menerima order secara *online*. Untuk itu, bengkel tersebut perlu mendaftarkan diri ke *provider Cloud Manufacturing*, untuk selanjutnya menjadi pilihan bagi yang memerlukan.

### 2.3.8. Kolaborasi Desain dengan Komputasi Awan

Dazhong Wu dkk (2015), mengembangkan model desain dan manufaktur berbasis awan (*Cloud Based Design and Manufacturing*), Gambar 2.15. Dalam model ini, seorang yang ingin membuat produk memposting RFQ (*requests for quotes*) di mesin pencari (*search engine*). RFQ ini antara lain memuat proses manufaktur yang diinginkan; gambar teknik dalam file CAD; harga

yang diinginkan; waktu penyerahan yang diharapkan; serta tingkat kualitas yang diinginkan.

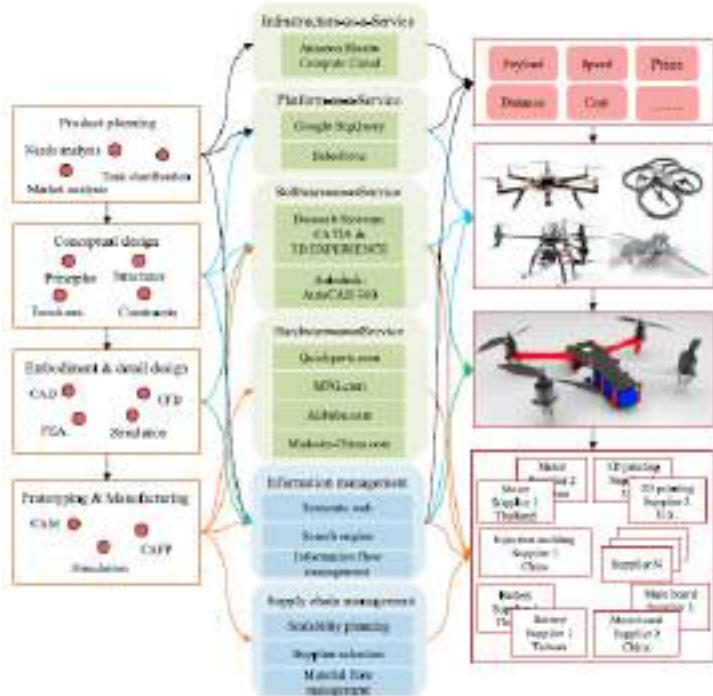


Gambar 2.15  
Sistem Desain dan Manufaktur Berbasis Awan

Mesin pencari (*search engine*) terdiri dari mesin *crawler*, *indeks*, dan *query*. Mesin *crawler* mengumpulkan data tentang manufaktur seperti variabel proses dan spesifikasi mesin dari database, dari server dokumen, serta dari berbagai sumber lain. Hasilnya dilimpahkan ke mesin indeks yang bertugas mengurutkan daftar ini sesuai dengan matriks yang ada seperti harga, kualitas, dan lokasi geografis. Mesin *query* berada di bagian muka dari mesin pencari yang bertugas menyampaikan hasilnya ke konsumen sebagai respon terhadap RFQ. Sehingga respon ini memuat antara lain, harga, waktu penyerahan, dan kualitas yang dapat diberikan.

Selanjutnya Dazhong Wu dkk memberikan contoh penggunaan secara lengkap layanan komputasi awan yaitu SaaS, PaaS, dan IaaS.

- Dalam melakukan perencanaan produk (*product planning*) yang mencakup analisa kebutuhan, analisa pasar, dan klarifikasi tugas, perancang produk dapat menggunakan layanan IaaS yang tersedia di komputasi awan seperti Amazon Elastic dan Compute Cloud.
- Layanan PaaS seperti Google BigQuery dan Salesforce juga dapat digunakan. Dalam membuat konsep desain (*conceptual design*) untuk menghasilkan prinsip, fungsi, struktur dan batasan (*constraints*) produk perancang dapat menggunakan layanan PaaS yaitu Google BigQuery dan Sales Force dan layanan SaaS yaitu Catia And 3D Experience; Autodesk: AutoCAD 360.
- Pada saat melakukan rancangan detail (*embodiment design*), perancang produk dapat menggunakan layanan SaaS. Sedangkan saat membuat purwarupa (*prototyping*) dan manufaktur, perancang produk dapat menggunakan layanan SaaS dan Hardware as a Service seperti Quickparts.com, MFG.com, Alibaba.com, Made-in-china.com.
- Disamping layanan dari komputasi awan di atas semua pekerjaan ini juga menggunakan sistem pengelolaan informasi dari cloud seperti Semantic web, Search engine, dan pengelolaan aliran informasi. Juga layanan pengelolaan rantai pasok, lihat Gambar 2.16.



Gambar 2.16  
Contoh Lengkap Penggunaan *Cloud Computing*

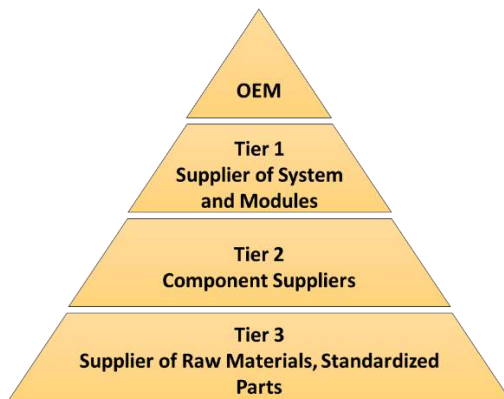


## **BAB 3**

### **PROSES INDUSTRI OTOMOTIF**

#### **3.1. Pengantar**

Industri otomotif adalah industri yang sangat kompleks, dengan ribuan komponen/*sub assembly*, menggunakan material yang beragam dan paling maju, dengan ragam produk yang sangat besar. Struktur industri otomotif ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dimana *original equipment manufacturer* (OEM) atau perusahaan pemegang merek berada pada puncak piramid, kemudian disusul dengan pemasuk *Tier 1*, *Tier 2*, dan *Tier 3*.



Gambar 3.1  
Struktur Industri Otomotif

Sebagai ilustrasi, PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN) menghasilkan 7 model mobil dengan 2 tipe mesin dan melibatkan 130 perusahaan manufaktur sebagai pemasok *Tier 1*, *Tier 2*, dan *Tier 3*. Jenis mobil yang dihasilkan mencakup Fortuner, Inova, Vios, Sienta dan Yaris. (Toermuedi, 2019).

### 3.2. Proses pada OEM

Produksi mobil termasuk proses yang sangat kompleks dan menggunakan teknologi maju di bidangnya. Tiap mobil memiliki antara 3000 – 4000 komponen. Komponen ini ada yang dibuat sendiri oleh OEM tetapi kebanyakan berasal dari pemasok Tier 1, Tier 2, dan Tier 3. Sehingga sinkronisasi dengan para pemasok menjadi kunci keberhasilan.

Proses produksi di OEM umumnya dikerjakan di lima bengkel, yaitu: (1) bengkel press (*press shop*); (2) bengkel las (*weld shop*); (3) bengkel cat (*paint shop*); (4) mesin dan penerus daya (*engine and transaxle shop*); (5) bengkel perakitan final (*trim/final fitman*).

#### Bengkel Press (*Press Shop*)

Bengkel press adalah tempat dimulai proses pembuatan mobil, yaitu bagian-bagian dari badan mobil dari lembaran baja (*sheet steel*). Proses press dilakukan bertahap dari lembaran hingga bentuk akhir setiap komponen.



Gambar 3.2  
Bengkel Press (*Press Shop*)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] (-----), 2017, Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - An Introduction, <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html>
- [2] Dr. Karsten Schweichhart, (2016), Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0): An Introduction, [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference\\_architectural\\_model\\_industrie\\_4.0\\_rami\\_4.0.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf)
- [3] (-----), (2019), The Industrial Internet of Things - Volume G1: Reference Architecture, Version 1.9, Industrial Internet Consortium, June 19. <http://www.iiconsortium.org>
- [4] Lin, Shi-Wan Lin and Stephen Mellor (Editors), (2017), Architecture Alignment and Interoperability: An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper, Industrial Internet Consortium. <http://www.iiconsortium.org>
- [5] Sehyun Myung, (2003), Implementation of the Digital Manufacturing in Automotive Industry, <https://www.researchgate.net/publication/272182392>
- [6] Nagorny, K., Lima-Monteiro, P., Barata, J. and Colombo, A.W. (2017) Big Data Analysis in Smart Manufacturing: A Review. Int. J. Communications, Network and System Sciences, 10, 31-58. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2017.103003>
- [7] Wu D, et al. (2013), Cloud manufacturing: Strategic Vision and State-of-the-art, Jour Manuf Sys. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.04.008>

- [8] Zezulka, F., Marcon,P., Vesely,I, Sajdl,O. (2016), Industry 4.0 – An Introduction in the Phenomenon, IFAC Conference Paper.
- [9] Christian Janiesch, Agnes Koschmider, Massimo Mecella, Barbara Weber, et.al., The Internet-of-Things Meets Business Process Management: Mutual Benefits and Challenges, September, <https://www.researchgate.net/publication/319662870>
- [10] Kunal Suri, 2019, Modeling the internet of things in configurable process models. Modeling and Simulation. Université Paris-Saclay. English. NNT : 2019SACLL005
- [11] Chii Changa, Satish Narayana Srirama, Rajkumar Buyya, 2016, Mobile Cloud Business Process Management System for the Internet of Things: A Survey, Article in ACM Computing Surveys, December 2016.
- [12] Ankit Srivastava, Dr. N. Revathi Venkataraman, (2017), AES-128 Performance in Tinyos with CBC Algorithm (WSN), nternational Journal of Engineering Research and Development, Volume7, Issue 5(June 2013), PP. 40-49
- [13] Rajive Joshi dan Paul Didier, (2018), The Industrial Internet of Things, Volume G5: Connectivity Framework, Industry Internet Consortium, IIC:PUB:G5:V1.01:PB:20180228
- [14] Brian Solis, (2017), The Six Stages Of Digital Transformation Maturity, Altimeter – Cognizant.
- [15] Dazhong Wu, David W. Rosen, Lihui Wang, Dirk Schaefer, 2015, Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation, Computer-Aided Design 59, page 1–14.
- [16] Pieter van Schalkwyk, How To Get Started With Industrial IoT, <https://xmpro.com/how-to-get-started-with-industrial-iot/> accessed on November 2, 2019

- [17] Boris Shiklo, (2018), IoT in Manufacturing: The Ultimate Guide, Science Soft – Profession Software Development, <https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing>, accessed on November 2, 2019
- [18] Ed Sinkora, 2019, Impelementing Industry 4.0 in Three Key Steps, Manufacturing Engineering, Publication of Sociey Manufacturing Engineering (SME), May 2019.
- [19] Viki Zabala, 2018, IoT Project Planning: Best Parctice, <https://www.iotone.com/guide/iot-project-planning-best-practices/g1070>, Accessed on November 4, 2019
- [20] Alexis Martin, Ivan Ivanov, (2018), Tapping into the Connected Cars Market: What You Need to Know, Access Partnership, Published 7<sup>th</sup> November, 2018, Retrieved from <https://www.accesspartnership.com/tapping-into-the-connected-cars-market-what-you-need-to-know/>
- [21] AT Kearney, (2018). Digital Transformation Roadmap for India’s Automotive Industry, 08 February.
- [22] Bruce Weinelt, (2016). A White Paper on Digital Transformation of Industries Automotive Industry, World Economic Forum.
- [23] Alex Sam (2019), Digital Transformation in Automotive Industry, 26 Juli, accessed Dec. 2 2019 from <https://hackernoon.com/digital-transformation-in-automotive-industry-f8ggy2cm7>.
- [24] Thomas Roccia (2018), Today’s Connected Cars Vulnerable to Hacking, Malware, McAfee, Mar 27, <https://securingtomorrow.mcafee.com/blogs/other-blogs/mcafee-labs/todays-connected-cars-vulnerable-hacking-malware/>
- [25] Todd Litman (2019), Autonomous Vehicle Implementation Predictions : Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute. October 2019.

- [26] CSS - Center for Sustainable Systems, University of Michigan. 2019. "Autonomous Vehicles Factsheet." Pub. No. CSS16-18.
- [27] Austin Weber, (2019), The Reality of Augmented Reality: Wearable devices empower assemblers to be more productive, Assembly, May 7 Edition, <https://www.assemblymag.com/articles/94979-the-reality-of-augmented-reality> , accessed on December 2, 2019
- [28] Sharmistha Sarkar (2018), 3D Printing: A Game-Changer for the Automotive Manufacturing Industry, Area Development, <https://www.areadevelopment.com/Automotive/q3-2018-auto-aero-site-guide/3D-printing-game-changer-automotive-manufacturing-industry.shtml>
- [29] Sculpteo, (2017), Digital Manufacturing -- The Factory of the Future is Here Today, Industry Week, Januari 2017, <https://www.industryweek.com/technology/digital-manufacturing-factory-future-here-today>
- [30] Fabian Wanke dan Will Hastings (2019), Additive Manufacturing Disrupts Automotive Industry, Automation World, July 22, 2019. <https://www.automationworld.com/home/blog/13320015/additive-manufacturing-disrupts-automotive-industry>
- [31] Takashi MORIMOTO, (2015), Connectivity and Big Data Analytics in Automotive, the 2015 ICT Outlook and Briefing, Frost & Sullivan.
- [32] Mike Woodward, (2015), Big Data Analytics in Automotive Industry, Deloitte LLP.
- [33] K. Lichtblau, V. Stich and dkk, "INDUSTRIE 4.0 READINESS," VDMA, Aachen, 2015.
- [34] N. T. Antara, "INDONESIA INDUSTRY 4.0 READINESS INDEX (INDI 4.0)," in *Indonesia Industrial Summit*, Tangerang selatan, 2019.
- [35] P.-I. Fleischer, "Guideline sensors for industrie 4.0," Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA).
- [36] V. Z. BITKOM, "Umsetzungsstrategie Industrie 4.0," BITKOM e.V., VDMA e.V., ZVEI e.V., 2015.
- [37] Gowri Vijayan, Nitty Hirawaty Kamarulzaman, Aroop Mukherjee, Selvakkumar K. N. Vaiappuri;

Strategic Value Creation in a Supply Chain,  
Chapter 11 in Handbook of Research on Global  
Supply Chain Management, Bryan Christiansen  
(Editor), PryMarke -LLC, USA, 2016

- [38] Matthew Jones and Senthil Virthachalam, 2017,  
Blockchain for Automotive Supply Chain, May 25,  
Retrieved from <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/blockchain-automotive-supply-chain/>