

RANCANGAN ARSITEKTUR SISTEM INFORMASI LOGISTIK BERBASIS *CYBER-PHYSICAL SYSTEMS* DENGAN TEKNOLOGI *BIG DATA* DAN *INTERNET OF THINGS*

Muhammad Rifqi Ma'arif*¹, Andika Bayu Saputra²

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Teknologi Informasi,

²Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Informasi,
Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta,
Jl.Siliwangi Km 0.7 Gamping, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55293

(Received: December 13, 2020/ Accepted: February 3, 2021)

Abstrak

Era Industri 4.0 sangat dipengaruhi oleh perkembangan teknologi informasi khususnya teknologi big data dan internet of things. Dua teknologi tersebut membangun sebuah paradigma baru yang disebut dengan Cyber-Physical System (CPS). CPS didefinisikan sebagai interkoneksi antara lingkungan fisik dengan program komputer melalui teknologi sensor/ IoT. Penerapan CPS di berbagai bidang bisnis/ industri akan semakin memperkuat nilai bisnis yang ditawarkan kepada customer. Salah satu bidang industri yang akan mengalami peningkatan signifikan dengan penerapan CPS adalah bidang logistik. Pengembangan Sistem Informasi Logistik dengan pengimplementasian konsep CPS akan memberikan nilai tambah bagi sektor logistik secara keseluruhan. Untuk mewujudkan hal tersebut, diperlukan sebuah studi konseptual bagaimana teknologi big data dan internet of things dapat diimplementasikan dalam sistem logistik. Sehingga, dalam penelitian ini, akan dikembangkan suatu rancangan arsitektur Sistem Informasi Logistik berbasis teknologi big data dan IoT untuk mendukung penerapan CPS dalam bidang logistik.

Kata kunci: Sistem Informasi Logistic; Cyber-Physical System; big data; internet of things

Abstract

The era of Industry 4.0 is strongly influenced by information technology developments, especially big data technology and the internet of things. The two technologies build a new paradigm called Cyber-Physical System (CPS). CPS is defined as the interconnection between the physical environment and computer programs through sensor / IoT technology. The application of CPS in various business / industry fields will further strengthen the business value offered to customers. One of the industrial fields that will experience a significant increase with CPS's application is the field of logistics. The development of the Logistics Information System by implementing the CPS concept will provide added value to the Logistics sector as a whole. To make this happen, we need a conceptual study of how big data technology and the internet of things can be implemented in the logistics system. Therefore, in this study, a Logistics Information System architecture design will be developed based on big data and IoT technology to support CPS's application in logistics.

Keywords: Logistic Information Systems; Cyber-Physical System; big data; internet of things

1. Pendahuluan

Salah satu konsep inti (*core concept*) dalam Industry 4.0 adalah *Cyber-Physical System* (CPS). CPS didefinisikan sebagai suatu set teknologi untuk mengelola koneksi sistem berbasis komputer (*cyber*) dengan lingkungan fisik (*physical environment*) (Mosterman & Zander, 2016). Adanya CPS

memungkinkan sistem komputer untuk menerima informasi secara langsung mengenai perubahan-perubahan fisik di lingkungan dimana sistem komputer tersebut digunakan tanpa melalui campur tangan manusia secara langsung (Lee et al., 2015; Winkelhaus & Grosse, 2020). Implementasi CPS dalam berbagai sektor industri mulai dari sistem produksi dan manufaktur hingga sistem logistik merupakan kunci bagi suatu perusahaan untuk memasuki era Industri 4.0 yang apabila dikelola dengan baik akan membawa peningkatan daya saing dan nilai ekonomi yang sangat

*Penulis Korespondensi

E-mail: rifqi@unjaya.ac.id

signifikan (Babiceanu & Seker, 2016; Tomiyama & Moyen, 2018). Dengan mengimplementasikan konsep CPS dalam arsitektur Sistem Informasi Logistik, maka meningkatkan peran dari Sistem Informasi Logistik tersebut dalam mewujudkan manajemen rantai pasok (*supply chain*) yang optimal dan efektif (Tu et al., 2018).

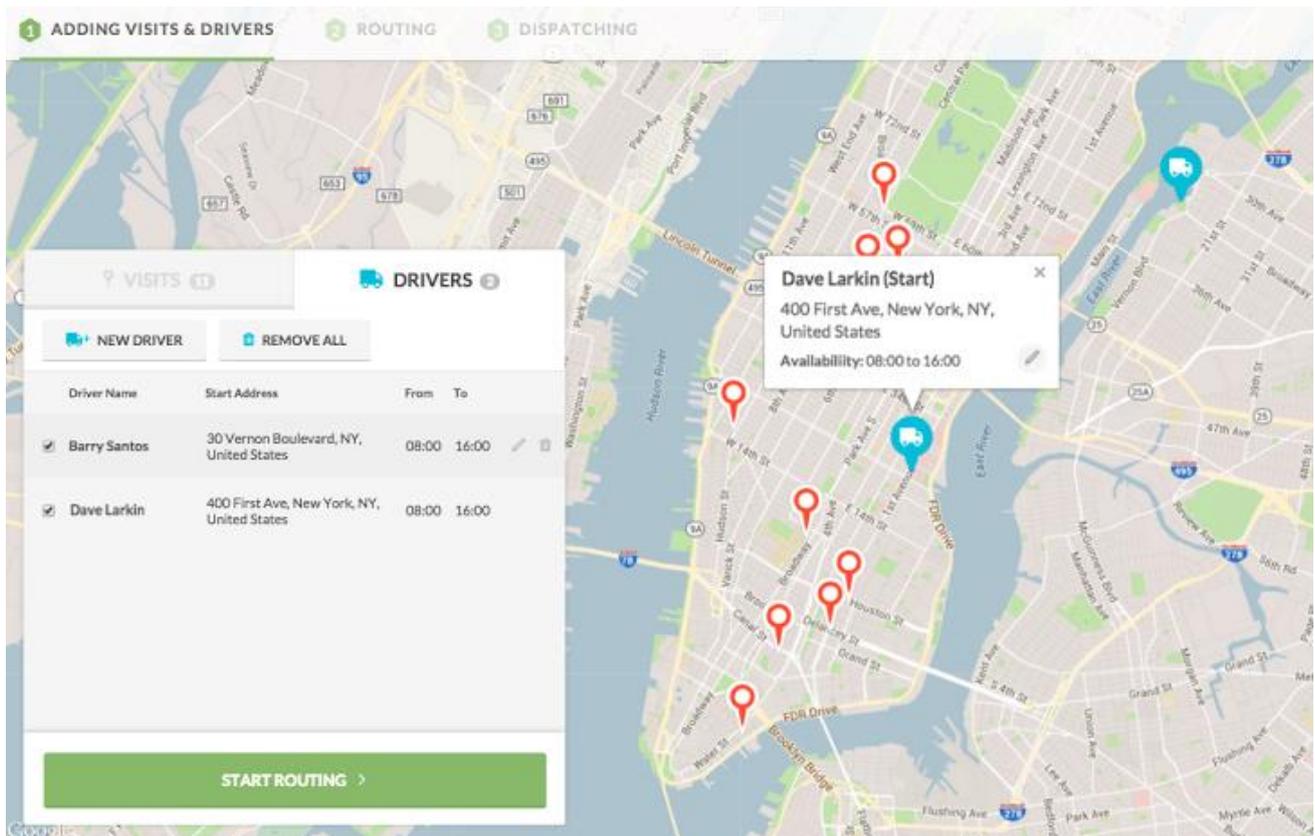
Implementasi CPS sangat bergantung pada interoperabilitas objek fisik dengan sistem komputer dan interkoneksi antar objek fisik dalam suatu lingkungan sistem (*system environment*). Dalam bahasa yang lebih teknis maka, dalam CPS akan melibatkan banyak sensor yang tersebar di lingkungan dimana sebuah sistem komputer dioperasikan yang secara terus-menerus akan mengirimkan data perubahan fisik yang terjadi pada lingkungan tersebut (Hossain & Muhammad, 2016; Quariguasi Frota Neto & Dutordoir, 2020). Dalam konteks Sistem Informasi Logistik, perubahan fisik yang diamati dan ditangkap informasinya oleh sensor meliputi setiap fase/ proses dari kegiatan *supply chain* dari hulu ke hilir yang cukup kompleks (Abdel-Basset et al., 2018; Büyüközkan & Göçer, 2018). Sehingga, implementasi CPS melalui sensor yang disebar di setiap proses *supply chain* akan menghasilkan data yang jumlahnya sangat besar dan heterogen (Abdel-Basset et al., 2018). Heterogenitas serta besarnya jumlah data tentu akan mempersulit pengelolaan dan penggunaan data tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini kami akan mengkaji rancangan arsitektur Sistem Informasi Logistik yang mampu mengelola data sensor yang berjumlah sangat besar, heterogen dan tidak terstruktur ke dalam satu format data yang standar dan mudah digunakan untuk berbagai macam keperluan. Untuk mewujudkan rancangan arsitektur tersebut, maka teknologi *big data* akan digunakan sebagai inti dari arsitektur sistem yang dikembangkan. Teknologi *big data* dipilih karena kemampuannya dalam mengelola data yang berjumlah sangat besar, tumbuh dalam waktu yang sangat singkat serta memiliki format maupun atribut yang sangat beragam (Marjani et al., 2017).

Saat ini, *big data* merupakan tren teknologi yang sedang mengalami peningkatan yang cukup signifikan, khususnya memasuki era Industri 4.0. Teknologi *big data* memberikan implikasi yang cukup fundamental dalam segala aspek dunia industri, mulai dari transportasi dan logistik, perencanaan manajemen operasi, bahkan pada cakupan yang lebih umum seperti *smart city* (Chiappetta Jabbour et al., 2020; ur Rehman et al., 2019). Implementasi *big data* dalam sebuah sistem bisnis secara garis besar dilakukan dalam dua tahapan yakni manajemen data (*data management*) dan analitik data (*data analytic*) (Saggi & Jain, 2018). Tahapan manajemen data terkait erat dengan teknik/ proses serta teknologi pendukung untuk mendapatkan data, membersihkan, menstandarisasi, menyimpan dan mengorganisasikan data tersebut dalam bentuk yang sistematis sehingga memudahkan proses temu kembali (*retrieval*) untuk keperluan analisis. Tahapan kedua adalah analitik data, analitik sebagai sebuah proses

untuk mentransformasikan data yang berjumlah sangat besar ke dalam informasi yang berguna bagi pengambilan keputusan.

Dalam konteks CPS, *big data* seringkali dipasangkan/ diimplementasikan secara bersamaan dengan *internet of things* (IoT). IoT sendiri merupakan sebuah *platform* yang memanfaatkan jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network*) untuk melakukan pemantauan secara intensif berbagai macam perubahan pada lingkungan fisik (Shadroo & Rahmani, 2018). Sensor-sensor yang digunakan dalam suatu *platform* IoT dapat saling berkomunikasi sehingga data yang dikirimkan ke sistem pengolahan data menjadi lebih akurat dan komprehensif (Firouzi et al., 2018; Ge et al., 2018; Saggi & Jain, 2018). Penerapan Teknologi *big data* dan *internet of things* (IoT) di bidang logistik dan transportasi meskipun masih baru namun membawa prospek yang sangat menjanjikan. Contoh sukses dari penerapan *big data* dan IoT di bidang logistik adalah sistem *Agent Vehicle Tracking* (AVT) yang dikembangkan oleh perusahaan ekspedisi DHL (Hopkins & Hawking, 2018). Dalam operasionalnya DHL telah mengadopsi CPS melalui implementasi *big data* dan IoT untuk meningkatkan performa dan efisiensi dari kegiatan operasional yang berdampak pada peningkatan layanan dan kepuasan pelanggan mereka. DHL mengimplementasikan teknologi yang mereka sebut sebagai "*truck telematics*", yakni sebuah *platform big data* yang diimplementasikan dalam Komputasi Awan (*cloud computing*) untuk mengumpulkan dan memproses data sensor yang dipasangkan dalam truk-truk mereka. Sensor yang dipasangkan pada truk akan secara kontinyu mengirimkan data berupa kecepatan kendaraan, jarak dan waktu tempuh, lokasi, kondisi mesin, dlsb. Segala perubahan data tersebut akan dapat diamati dari ruang kontrol pusat secara *real-time* untuk mendukung sistem *operational decision support* yang sudah dibangun sebelumnya. Laporan tahunan DHL pada tahun 2017 menyebutkan bahwa mereka sukses mengurangi emisi GHG sebesar 42% dan 32% diantaranya merupakan dampak dari implementasi AVT.

Contoh lain penerapan CPS di bidang logistik tertuang dalam riset yang dilakukan oleh (Tiwari et al., 2018). Dalam riset tersebut dikembangkan sebuah perangkat lunak optimasi yang bernama Routific. Dengan bantuan Routific, perusahaan dapat memperoleh rekomendasi skema *vehicle routing* terbaik secara *real-time*. Rekomendasi yang disediakan oleh Routific berbasis pada data yang dikirimkan oleh sensor yang terpasang pada kendaraan. Sensor tersebut mengirimkan data berupa sisa jarak dan waktu tempuh, kapasitas kendaraan, kecepatan berkendara, kemacetan lalu lintas, waktu kerja pengemudi, dlsb. **Gambar 1** menunjukkan antar-muka dari perangkat lunak Routific (Tiwari et al., 2018). Dari data statistik yang dirilis pada *websitenya*, Routific membantu perusahaan untuk dapat mengirimkan barang secara tepat waktu ke pelanggan serta melakukan penghematan bahan bakar



Gambar 1. Contoh Tampilan Antarnuka Software Routific (Tiwari et al., 2018)

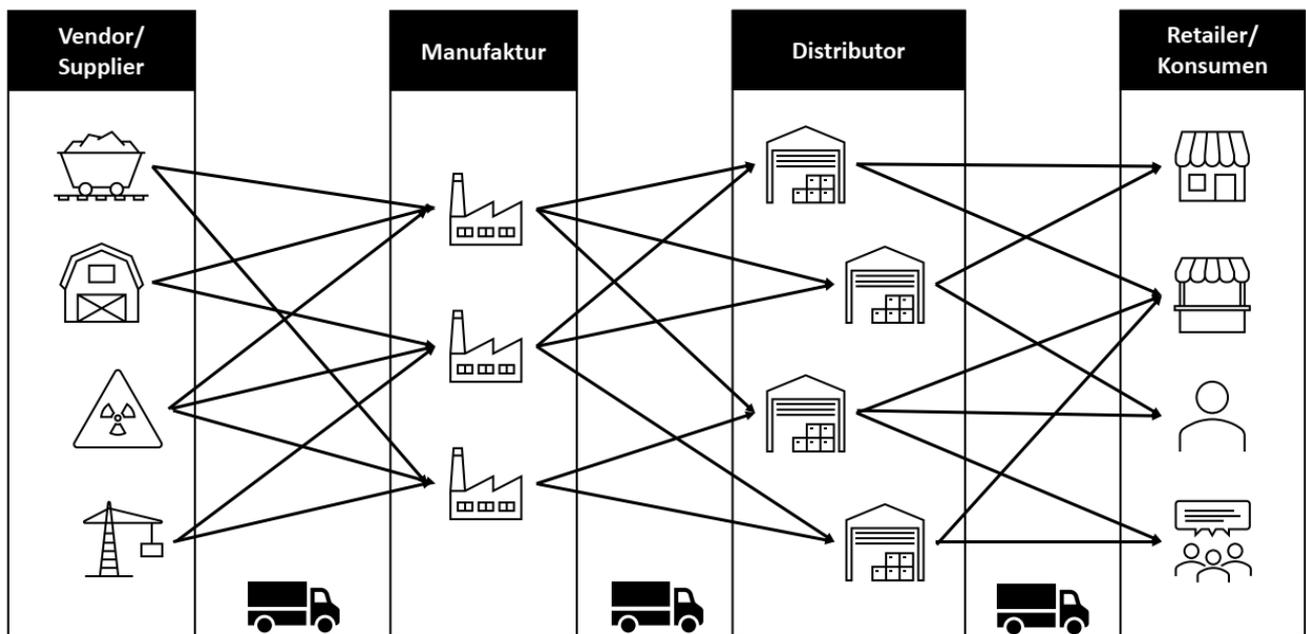
dan biaya perawatan karena mengurangi waktu dan jarak tempuh kendaraan hingga 40%.

Penelitian terkait dengan implementasi teknologi-teknologi baru dalam era Industri 4.0 seperti *big data*, IoT, kecerdasan buatan dlsb dalam industri logistik dan transportasi memunculkan satu istilah baru yakni *smart logistics* (Hopkins & Hawking, 2018; Quariguasi Frota Neto & Dutordoir, 2020; Trappey et al., 2017). *Smart Logistics* mengacu pada sebuah sistem logistik yang mampu secara otomatis menemukan solusi-solusi terbaik untuk optimasi/ peningkatan performa proses logistik dengan memanfaatkan kemajuan teknologi, khususnya teknologi sensor/ IoT dan pengolahan data (*big data* dan kecerdasan buatan). Dalam penelitian-penelitian yang berkaitan dengan *smart logistics*, pengembangan platform *big data* dan IoT untuk mendukung implementasi kendaraan otonom (*autonomous driving car*) dalam sistem logistik merupakan salah satu topik yang paling populer (Chaudhari et al., 2019; Mitchell et al., n.d.; Shibata et al., 2020). Popularitas riset platform otomasi logistik seperti kendaraan otonom tersebut akan membawa sumber daya baru yang sangat berharga untuk pengembangan *smart logistics*. Sumber daya tersebut berupa berbagai macam data terkait proses logistik yang berjumlah sangat besar, semakin besar jumlah data, maka segala macam metode/ algoritma optimasi akan bisa diterapkan dengan lebih akurat (Tiwari et al., 2018).

Dari literatur yang diuraikan, secara implisit dapat dilihat bahwa implementasi *big data* dan IoT dalam industri logistik dan transportasi memang memiliki prospek yang cukup menjanjikan. Namun cerita sukses penerapan teknologi tersebut lebih banyak lahir dari perusahaan/ organisasi besar yang memiliki sumber daya penelitian dan pengembangan yang hampir tak terbatas (Winkelhaus & Grosse, 2020). Perusahaan-perusahaan yang lebih kecil dengan dana pengembangan yang terbatas sudah barang tentu akan memiliki kesulitan dalam melakukan eksperimen dan implementasi CPS dalam sistem logistik mereka. Sehingga dalam penelitian ini akan dikaji rancangan arsitektur sistem logistik berbasis CPS yang dapat diimplementasikan pada sistem logistik di perusahaan/ organisasi dengan biaya seminimal mungkin.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian dengan menggunakan pendekatan rancang bangun. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sebuah arsitektur sistem informasi logistik berbasis teknologi *big data*. Untuk dapat mewujudkan arsitektur tersebut, maka dalam penelitian ini akan mengkombinasikan tiga metode/ pendekatan secara berurutan yakni studi konseptual, perancangan arsitektur sistem dan pengembangan purwarupa (*prototype*). Di tahapan yang pertama, akan dilakukan studi konseptual untuk mendapatkan *state of the art* dari referensi-referensi terkait dengan proses bisnis logistik secara umum di



Gambar 2. Proses Umum Sistem Logistik di Perusahaan Manufaktur

perusahaan manufaktur dan potensi implementasi *cyber-physical interaction* dalam proses bisnis tersebut, khususnya pemanfaatan *big data* dan IoT. Tujuan dari studi konseptual yang tersebut adalah untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas sekaligus mendalam mengenai berbagai macam model bisnis dan teknis implementasi *big data* dan IoT pada bidang logistik.

Dari hasil studi konseptual tersebut, didapatkan gambaran umum proses logistik dalam perusahaan manufaktur seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2**. **Gambar 2** menunjukkan proses logistik secara umum pada perusahaan manufaktur. Di perusahaan manufaktur, proses logistik merupakan sub-bagian dari aktivitas manajemen rantai pasok (*supply chain management*) yang berfokus pada perencanaan dan pengendalian barang mulai dari bahan mentah sampai bahan jadi dan proses distribusinya ke konsumen.

Dari **Gambar 2** dapat dilihat bahwa secara umum terdapat 2 tahapan dalam proses logistik di perusahaan manufaktur. Tahap pertama adalah aliran bahan baku maupun bahan mentah (*raw material*) dari *supplier* atau vendor ke perusahaan manufaktur. Tahap kedua adalah aliran barang jadi (*goods*) dari perusahaan manufaktur ke distributor maupun gudang penyimpanan (*warehouse*) yang berada di luar tempat produksi, dan tahapan yang ketiga adalah aliran barang jadi dari distributor ke *retailer* maupun langsung ke pengguna akhir (*end users*) baik itu *retailer* maupun konsumen. Dalam penelitian ini, arsitektur sistem informasi logistik yang dibangun difokuskan pada tahapan logistik yang kedua, yakni dari perusahaan manufaktur ke distributor.

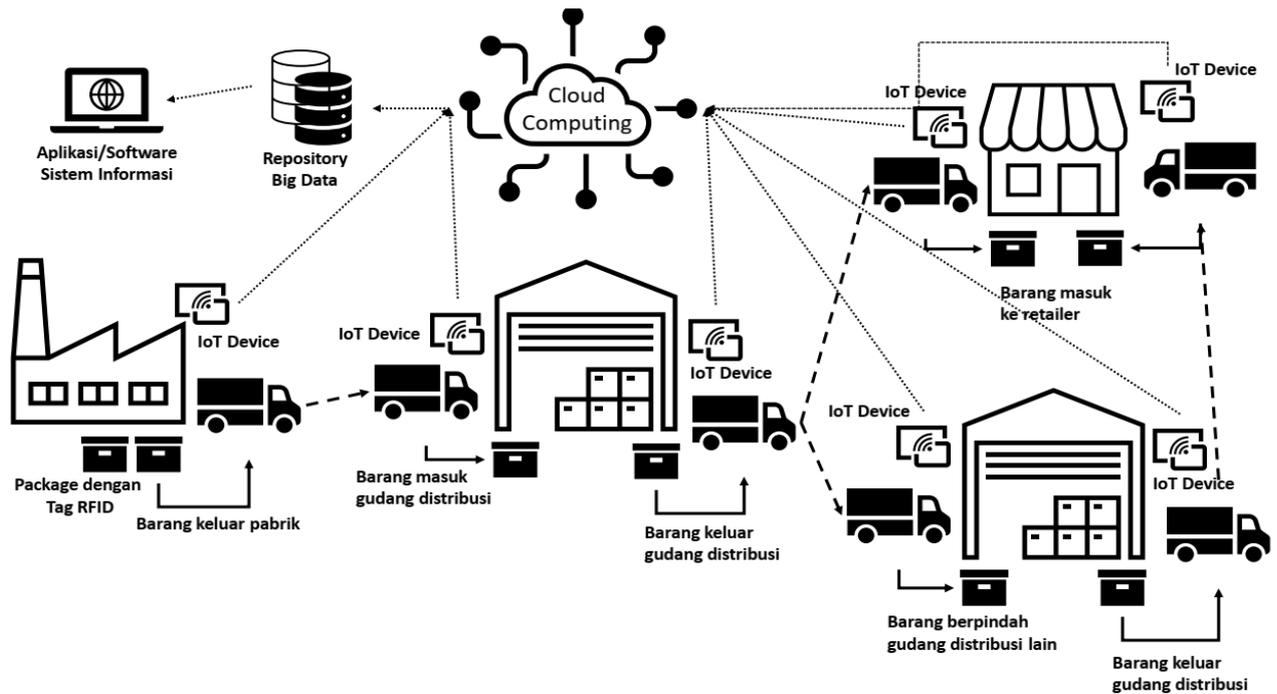
Tahapan yang kedua dari penelitian ini adalah pengembangan rancangan arsitektur. Rancangan arsitektur disusun dalam dua tahap. Tahap yang pertama adalah menyusun skenario penerapan *cyber-*

physical interaction dengan IoT dan *big data*, kemudian tahapan kedua adalah merancang arsitektur teknologi untuk mengimplementasikan skenario *cyber-physical interaction* tersebut. FGD dilakukan untuk mendapatkan *feedback/* masukan dari para praktisi maupun pakar/ akademisi atas rancangan arsitektur awal yang sudah dibuat. Kegiatan FGD akan dilakukan beberapa kali hingga menemukan rancangan akhir dari arsitektur Sistem Informasi Logistik. Pada kegiatan-kegiatan FGD yang dilakukan, hal-hal yang akan digali lebih dalam meliputi komponen-komponen yang menyusun arsitektur sistem informasi logistik.

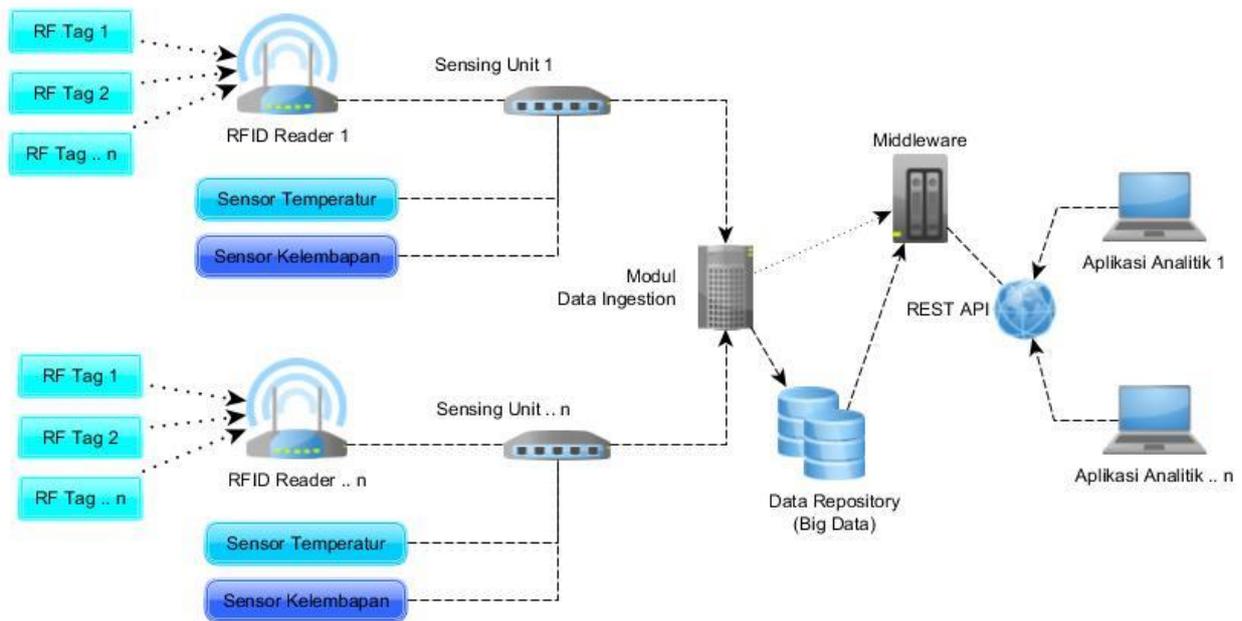
Desain arsitektur yang dirancang dalam penelitian ini mencakup dua aspek yakni aspek perangkat keras (*hardware/ physical*) dan aspek perangkat lunak (*software/ cyber*). Aspek perangkat keras meliputi desain dan pemilihan teknologi untuk akuisisi data pergerakan barang (*commodity flow*). Sedangkan aspek perangkat lunak mencakup desain antar muka *software* untuk menyajikan informasi yang dapat dihasilkan dari pemrosesan data pergerakan barang. Sebagai batasan untuk aspek perangkat lunak, dalam penelitian ini hanya akan didefinisikan rancangan antarmuka yang memuat arsitektur informasi dari hasil pemrosesan data pergerakan barang dan tidak mencakup detail desain alur logika maupun algoritma yang digunakan dalam perangkat lunak.

3. Hasil dan Pembahasan Rancangan Arsitektur Sistem

Dalam penelitian ini, sistem informasi logistik yang dirancang dibatasi untuk implementasi logistik pada perusahaan manufaktur. Dari proses bisnis sistem logistik pada **Gambar 2**, maka langkah selanjutnya adalah menyusun skenario interaksi *cyber-physical* pada setiap aktivitas kunci pada sistem logistik, khususnya aktivitas distribusi/ pengiriman barang dari



Gambar 3. Rancangan Interaksi *Cyber Physical* pada Sistem Informasi Logistik untuk Memonitor Pergerakan Barang



Gambar 4. Arsitektur Teknologi Sistem Informasi Logistik dengan Big Data dan IoT

manufaktur ke distributor. **Gambar 3** menunjukkan gambaran skenario tersebut dengan memanfaatkan teknologi IoT/ sensor (*physical*) serta *big data* (*cyber*). Dalam skenario tersebut setiap paket barang yang keluar/ masuk dari manufaktur, gudang/ *warehouse* atau fasilitas lainnya akan direkam datanya. Data yang direkam meliputi identitas paket barang, waktu masuk/ keluar, dan kondisi lingkungan (suhu dan kelembapan) ketika perekaman data. Data tersebut dikirimkan oleh perangkat IoT secara otomatis ke sistem *big data* melalui infrastruktur *cloud computing*.

Proses identifikasi data barang adalah dengan menggunakan teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*). Implementasi dari rancangan penggunaan RFID tersebut adalah dengan memasang satu RFID *tag* ke dalam satu paket barang. Definisi satu paket barang ini bisa bervariasi tergantung jenis barang. Untuk barang berukuran besar atau dengan nilai mahal seperti produk otomotif, furnitur atau produk-produk *fashion* tertentu dan sejenisnya, RFID *tag* dapat dipasangkan langsung pada barang yang bersangkutan. Namun untuk produk seperti makanan ringan, obat-

obatan dan sejenisnya, RFID *tag* akan dipasang pada setiap paket (kardus, dll).

Pemasangan RFID *tag* pada paket barang sekaligus memberikan ID (*identifier*/ pengenal) pada barang tersebut, sedangkan data detail dari barang akan tersimpan di basis data. ID tersebut akan berguna untuk mencatat keluar masuknya barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Sesuai dengan rancangan pada gambar 3, perangkat IoT (IoT *Device*) yang dalam hal ini adalah RFID *reader* akan merekam secara otomatis RFID *tag* yang dipasangkan pada paket barang yang melewati RFID *reader* tersebut dalam jarak tertentu. IoT *Device* tersebut dipasang di tempat barang melintas (masuk/ keluar) dari fasilitas produksi maupun penyimpanan.

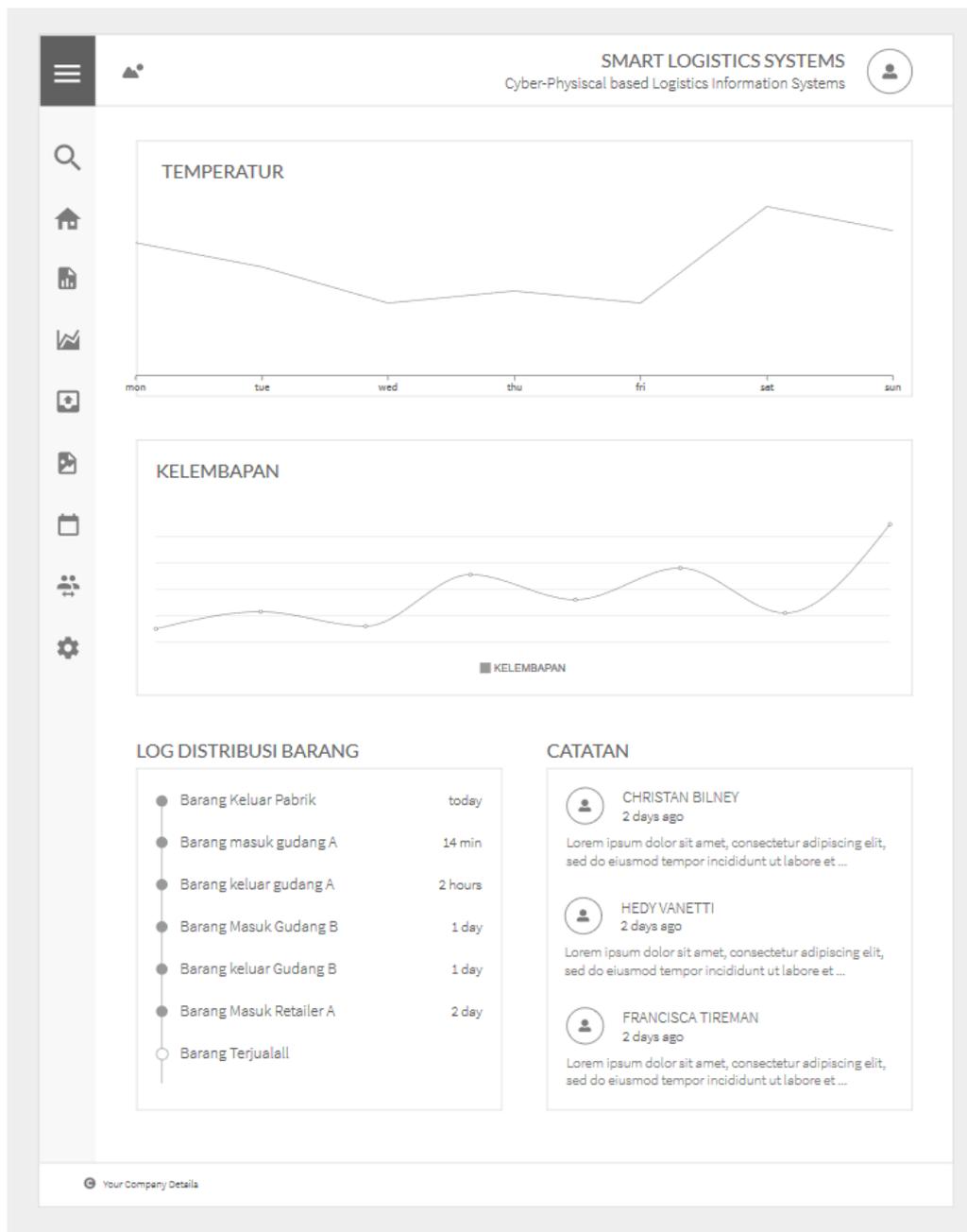
Tahapan desain selanjutnya adalah rancangan arsitektur teknologi sebagai implementasi teknis dari skenario interaksi *cyber-physical* yang digambarkan dalam **Gambar 4**. Arsitektur sistem informasi logistik yang dirancang dalam penelitian ini akan memanfaatkan teknologi berbasis IoT untuk memonitor pergerakan barang serta kondisi lingkungan sekitar (suhu dan kelembapan). Konsekuensi dari implementasi IoT adalah adanya *log* (jejak) data yang cukup banyak. Hal tersebut terjadi karena perangkat sensor pada sistem IoT akan menghasilkan dan mengirimkan data dalam rentang interval tertentu yang sudah ditentukan. Semakin kecil interval waktu, maka semakin akurat informasi yang diterima (*real time*). Namun, akan semakin banyak juga data yang dihasilkan. Sehingga, agar data tersebut dapat diorganisasi dan diproses dengan optimal, maka teknologi *big data* diimplementasikan untuk mengatasi hal tersebut.

Komponen pertama yang menyusun arsitektur teknologi dari sistem informasi logistik adalah *sensing unit*. Dalam arsitektur sistem informasi logistik berbasis CPS yang dikembangkan ini, *sensing unit* adalah seperangkat *hardware* yang berfungsi untuk merekam data pergerakan barang beserta dengan kondisi lingkungan (temperatur dan kelembapan) pada saat perekaman. *Sensing unit* terdiri atas perangkat RFID dan 2 unit sensor, yakni sensor temperatur dan kelembapan. Perangkat RFID yang digunakan terdiri dari dua elemen, yakni RFID *tag* dan RFID *reader*. RFID *tag* dipasang pada setiap paket (kardus, dll) untuk mengidentifikasi barang yang diproduksi. Kode barang sebagai penanda unik akan terbaca otomatis ketika *tag* RFID tersebut melewati RFID *reader* dalam jarak tertentu. Pembacaan otomatis ini merupakan bentuk otomasi berbasis IoT untuk memantau pergerakan barang dari satu fasilitas ke fasilitas yang lain. Sedangkan RFID *reader* adalah perangkat (*device*) yang secara otomatis membaca *tag* RFID yang melintas dalam jarak tertentu dengan frekuensi radio. Terdapat beragam jenis RFID *reader* berdasarkan jangkauannya. Dalam arsitektur yang dibangun dalam penelitian ini, spesifikasi RFID *reader* yang digunakan minimal dapat membaca secara otomatis *tag* RFID. Ketika *tag* RFID terbaca oleh RFID *reader*, sistem

akan merekam waktu, lokasi serta kondisi lingkungan (suhu dan kelembapan) dan mengirimkannya ke elemen aplikasi lain yakni *data ingestion module*.

Elemen arsitektur berikutnya adalah *data ingestion module*. Modul ini berfungsi untuk mengatur lalu lintas data dari perangkat sensing unit yang tersebar di banyak lokasi sebelum masuk ke repositori data. Dalam modul data ingestion ditanam program komputer untuk memastikan kualitas dan validitas data yang dimasukkan ke dalam repositori data. Beberapa teknologi yang tersedia dan bersifat *open source* untuk mengimplementasikan modul *data ingestion* ini diantaranya adalah Apache Kafka, Apache Storm serta RabbitMQ. Selanjutnya, data yang sudah diintegrasikan dari berbagai sumber oleh bagian ini kemudian disimpan dalam elemen arsitektur berikutnya yakni repositori data. Repositori data dalam arsitektur ini merupakan realisasi dari teknologi *big data*. Repositori ini menyimpan data yang dikirimkan dari *sensing unit* melalui *data ingestion modul*. Dalam arsitektur ini, repositori data dibangun dengan model NoSQL dengan implementasi menggunakan MongoDB.

Dua elemen terakhir dari arsitektur sistem informasi logistik berbasis CPS ini adalah *middleware* dan aplikasi analitik. *Middleware* adalah elemen arsitektur yang fungsi utamanya adalah sebagai jembatan data antara repositori data dengan aplikasi, khususnya aplikasi yang terkait dengan *query* dan *analytics*. Implementasi dari *middleware* adalah sebuah program komputer yang berupa *web service* yang diimplementasikan dengan protokol komunikasi REST (*Representational State Transfer*). Melalui *interface* REST ini, aplikasi analitik akan melakukan permintaan (*request*) kebutuhan data sesuai dengan informasi yang harus disajikan ke pengguna. Selanjutnya program komputer yang ditanam dalam *middleware* akan melakukan *query* ke repositori *big data* untuk memenuhi kebutuhan data tersebut. Selanjutnya, aplikasi analitik ini merupakan antar muka dalam bentuk grafis yang disajikan untuk pengguna akhir, dalam hal ini adalah *stakeholder* pengambil keputusan dalam operasi logistik (manajer logistik). Aplikasi ini akan menyediakan tampilan grafis dari data yang dikirimkan secara kontinyu dan otomatis oleh perangkat IoT dan disimpan dalam repositori *big data*. Dari desain sistem informasi logistik yang dikembangkan dalam penelitian ini, setidaknya ada dua informasi grafis yang disajikan dalam aplikasi analitik. Informasi yang pertama adalah informasi pergerakan barang dan kondisi lingkungan tempat barang disimpan yang ditunjukkan oleh **Gambar 5**. Sedangkan informasi yang kedua adalah informasi *inventory level* berdasarkan data keluar-masuk barang dari suatu fasilitas penyimpanan (*warehouse*). Informasi *inventory level* ini disajikan baik secara global (seluruh fasilitas penyimpanan) yang maupun detail *inventory level* untuk tiap *warehouse*. **Gambar 6** menunjukkan antarmuka analitik untuk informasi *inventory level*.



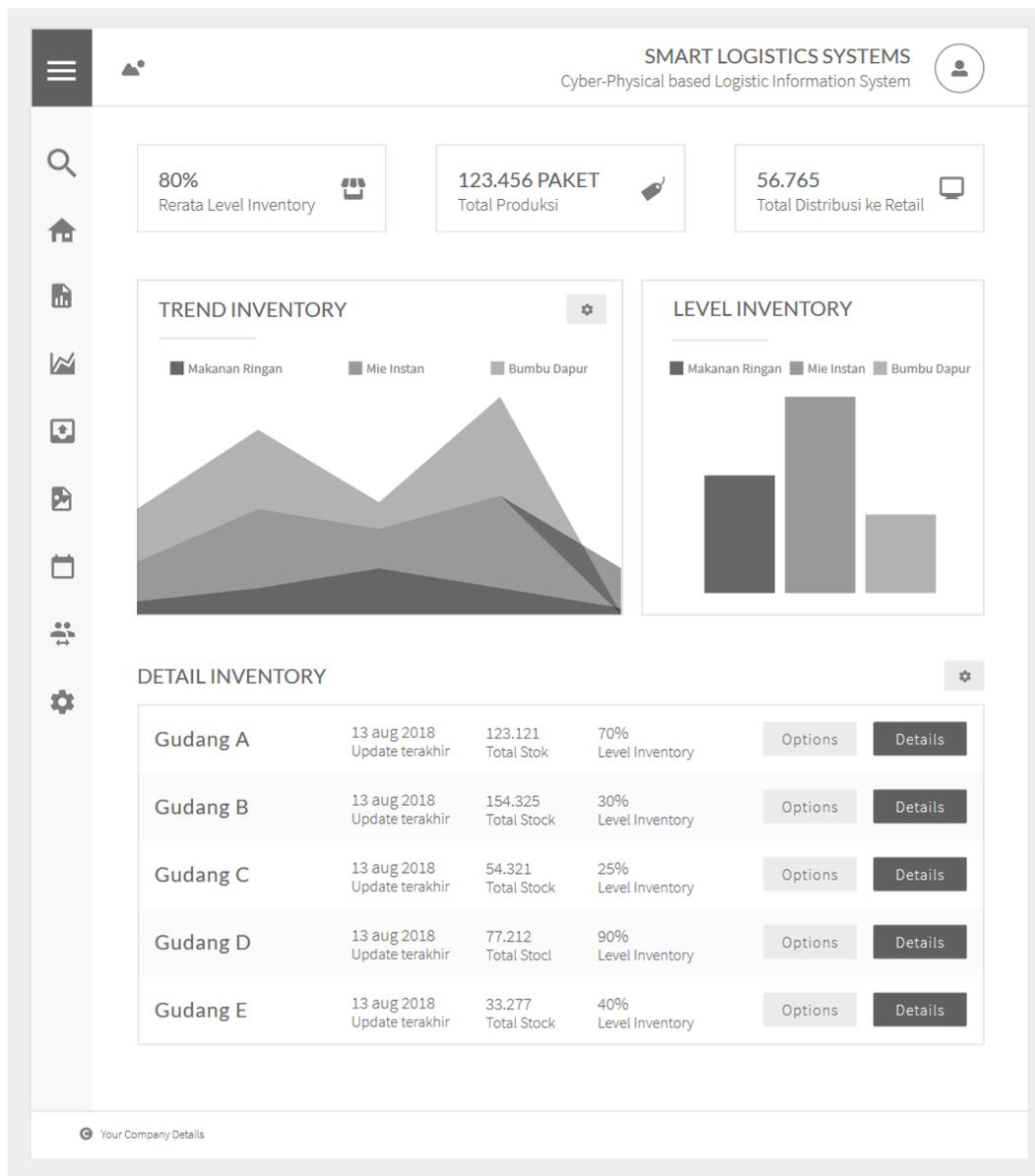
Gambar 5. Purwarupa Antarmuka Informasi Pergerakan Paket Barang Beserta Data Kondisi Lingkungan

Skenario Implementasi Arsitektur

Rancangan arsitektur yang diuraikan dalam bagian 3 merupakan rancangan konseptual yang bersifat generik. Sehingga rancangan tersebut dapat diterapkan pada berbagai domain bisnis yang melibatkan aktivitas logistik/ rantai pasok antara manufaktur, gudang hingga pelanggan. Hal paling mendasar yang perlu diperhatikan dalam implementasi arsitektur ini, bagaimana *tag* RFID akan ditempatkan pada barang yang akan dimonitor pergerakannya. Tiap jenis manufaktur pasti memiliki jenis barang yang berbeda yang juga akan membedakan bagaimana *tag* RFID tersebut akan ditempatkan. Apakah akan ditempatkan pada setiap barang, ataukah ditempatkan pada satu paket barang (kardus, karton, dan

sebagainya). Seperti yang sudah dicontohkan pada bagian 3, untuk barang berukuran besar atau dengan nilai mahal seperti produk otomotif, furnitur atau produk-produk fashion tertentu dan sejenisnya, RFID *tag* dapat dipasangkan langsung pada barang yang bersangkutan. Namun untuk produk seperti makanan ringan, obat-obatan dan sejenisnya, RFID *tag* dapat dipasang pada setiap paket barang.

RFID *tag* yang dipasangkan pada barang/ paket barang tersebut ketika melewati RFID *reader* pada jangkauan jarak tertentu akan menjadi *event* yang memicu perubahan informasi secara *real-time* pada tampilan informasi di antar muka perangkat lunak sistem informasi seperti pada **Gambar 5**. Antarmuka perangkat lunak pada **Gambar 5** menampilkan data



Gambar 6. Purwarupa Antarmuka Informasi *Inventory Level* Berdasarkan Data Keluar-Masuk Barang

pergerakan barang sesuai dengan hasil pembacaan RFID reader pada RFID tag yang terpasang pada barang. Ketika barang yang terpasang RFID tag melintas, secara otomatis informasi log pergerakan barang akan bertambah. Sementara itu, informasi kelembapan dan temperatur dihitung dari rata-rata data dan kelembapan selama barang berada di suatu tempat. Lamanya barang berada di suatu tempat dihitung dari rentang waktu pembacaan dua RFID reader yang merekam pergerakan barang secara berurutan.

Data pergerakan barang tersebut merupakan data dasar yang akan diproses lebih lanjut untuk menghasilkan informasi yang ditambihkan oleh antarmuka sistem informasi pada **Gambar 6**. **Gambar 6** merupakan tampilan grafis untuk menyajikan data inventori. Secara sederhana, data inventori akan bertambah ketika ada barang dengan tag RFID yang terbaca oleh RFID reader yang merekam pergerakan barang masuk ke gudang/ warehouse, sebaliknya

inventori akan berkurang ketika ada barang dengan tag RFID terbaca RFID reader yang merekam pergerakan barang keluar gudang.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, telah berhasil dirancang desain sistem informasi logistik yang mengimplementasikan *cyber-physical system* dengan memanfaatkan teknologi *internet of things* dan *big data*. Arsitektur tersebut berisi elemen-elemen teknologi yang memungkinkan untuk memonitor data pergerakan barang dalam sistem distribusi/ logistik dan menyajikan informasi terkait dalam bentuk *visual analytics*. Selain arsitektur teknologi dalam penelitian ini juga dikembangkan purwarupa (*prototype*) dalam bentuk antarmuka grafis untuk memberikan gambaran bagaimana sistem ini akan beroperasi dan bermanfaat untuk *stakeholder* yang terlibat dalam sistem logistik.

Penelitian ini merupakan studi pendahuluan (*preliminary study*) untuk implementasi teknologi yang berorientasi kepada *cyber-physical system* dalam sistem logistik, khususnya pada perusahaan manufaktur di Indonesia. Potensi penelitian lanjutan dari studi ini cukup luas mulai dari aspek bisnis, teknis, sampai pada teknologi. Kemudian dari sisi praktis, teknologi *big data* dan IoT yang diusulkan dalam penelitian ini juga memiliki potensi yang besar untuk diimplementasikan dan memberikan nilai tambah pada sistem logistik perusahaan manufaktur, khususnya di Indonesia. Dengan adanya *cyber-physical interaction* melalui teknologi *internet of things* dan *big data*, perusahaan dapat meningkatkan visibilitas ataupun transparansi dari sistem logistik yang dikelolanya.

5. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan hibah pendanaan untuk penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2020.

6. Daftar Pustaka

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. (2018). *internet of things* (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Generation Computer Systems*, 86, 614–628.
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). *big data* and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128–137.
- Büyükoçkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157–177.
- Chaudhari, A., Shah, D., Mungekar, K., & Wani, V. (2019). Design and implementation of car for smart cities—intelligent car prototype. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 898, 485–494.
- Chiappetta Jabbour, C. J., Fiorini, P. D. C., Ndubisi, N. O., Queiroz, M. M., & Piato, É. L. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *Science of the Total Environment*, 725.
- Firouzi, F., Rahmani, A. M., Mankodiya, K., Badaroglu, M., Merrett, G. V, Wong, P., & Farahani, B. (2018). Internet-of-Things and *big data* for smarter healthcare: From device to architecture, applications and analytics. *Future Generation Computer Systems*, 78, 583–586.
- Ge, M., Bangui, H., & Buhnova, B. (2018). *big data* for *internet of things*: A Survey. *Future Generation Computer Systems*, 87, 601–614.
- Hopkins, J., & Hawking, P. (2018). *big data* Analytics and IoT in logistics: a case study. *International Journal of Logistics Management*, 29(2), 575–591.
- Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2016). Cloud-assisted *Industrial internet of things* (IIoT) – Enabled framework for health monitoring. *Computer Networks*, 101, 192–202.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
- Marjani, M., Nasaruddin, F., Gani, A., Karim, A., Hashem, I. A. T., Siddiqa, A., & Yaqoob, I. (2017). *big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges*. *IEEE Access*, 5, 5247–5261.
- Mitchell, L., ... S. K.-2019 6th I., & 2019, undefined. (n.d.). IoT Based Express-Lanes for Autonomous Vehicle. *Ieeexplore.Ieee.Org*. Retrieved September 8, 2020, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8711622/>
- Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study. *Software and Systems Modeling*, 15(1), 17–29.
- Quariguasi Frota Neto, J., & Dutordoir, M. (2020). Mapping the market for remanufacturing: An application of “*big data*” analytics. *International Journal of Production Economics*, 230, 107807.
- Saggi, M. K., & Jain, S. (2018). A survey towards an integration of *big data* analytics to *big insights* for value-creation. *Information Processing and Management*, 54(5), 758–790.
- Shadroo, S., & Rahmani, A. M. (2018). Systematic survey of *big data* and data mining in internet of things. *Computer Networks*, 139, 19–47.
- Shibata, Y., Sakuraba, A., Sato, G., & Uchida, N. (2020). IoT Based Wide Area Road Surface State Sensing and Communication System for Future Safety Driving. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 926, 1123–1132.
- Tiwari, S., Wee, H. M., & Daryanto, Y. (2018). *big data* analytics in supply chain management between 2010 and 2016: Insights to industries. *Computers and Industrial Engineering*, 115, 319–330.
- Tomiyaama, T., & Moyen, F. (2018). Resilient architecture for cyber-physical production systems. *CIRP Annals*, 67(1), 161–164.
- Trappey, A. J. C., Trappey, C. V., Fan, C. Y., Hsu, A. P. T., Li, X. K., & Lee, I. J. Y. (2017). IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A*, 40(7), 593–602.
- Tu, M., Lim, M. K., & Yang, M. F. (2018). IoT-based production logistics and supply chain system – part 1 modeling IoT-based manufacturing IoT supply chain. *Industrial Management and Data Systems*, 118(1), 65–95.

ur Rehman, M. H., Yaqoob, I., Salah, K., Imran, M., Jayaraman, P. P., & Perera, C. (2019). The role of *big data* analytics in industrial *internet of things*. *Future Generation Computer Systems*, 99, 247–

Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. In *International Journal of Production Research* (Vol. 58, Issue 1, pp. 18–43). Taylor and Francis Ltd.