

Rancangan konsep sistem pemantauan dan pengelolaan data produksi berbasis *configurable virtual workstation* (CVWs)

Andi Arif Isyanto^{1,2}, Sri Raharno²

¹PT Industri Kereta Api (INKA)

Jl. Yos Sudarso No. 71, Madiun 63122

²Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132

Email korespondensi: harnos@itb.ac.id

Abstrak

Pengelolaan data produksi yang sangat banyak dan bervariasi merupakan hal yang sulit untuk dilakukan secara manual, sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat digunakan untuk memantau dan mengelola data produksi dengan mudah selama proses berlangsung. Kajian ini mengusulkan rancangan konsep sistem pemantauan dan pengelolaan data produksi berbasis Configurable Virtual Workstation pada industri kereta api di Indonesia, dengan studi kasus proses perakitan gerbong datar. Metodologi yang digunakan dalam kajian ini yaitu dengan cara membuat model virtual elemen perakitan sesuai kondisi nyata di lantai produksi. Masing-masing elemen virtual ini akan saling terhubung untuk mendapatkan informasi terbaru di lantai produksi secara akurat dan transparan untuk membangun Cyber Physical System sebagai langkah awal menuju Industri 4.0. Beberapa informasi yang dapat diperoleh dari penerapan sistem ini antara lain: 1) jam kerja operator; 2) operasi yang sedang berlangsung; 3) status penyelesaian produk; 4) status pasokan material; 5) mampu telusur produk. Berdasarkan informasi tersebut, maka kondisi aktual di lantai produksi dapat diketahui dan dipantau dengan mudah dan akurat.

Kata kunci: Industri 4.0, cyber physical system, configurable virtual workstation, industri kereta api.

Abstract

Management of production data that is excessively big and varied is difficult to do manually, so the system that can be used to easily monitor and manage the production data during the process is needed. This study proposes a framework of monitoring and managing production data based on Configurable Virtual Workstation (CVWs) in the rollingstock industry in Indonesia, with a case study of the flat wagon assembly process. The methodology used in this study is by creating a virtual model of assembly elements according to real conditions on the shopfloor. Each of these virtual elements will be connected to each other to get the update information on the shopfloor accurately and transparently to build a cyber-physical system as the first step towards Industry 4.0. Some of the information that can be obtained from the implementations of this system includes: 1) operator working hours; 2) ongoing operation; 3) product completion status; 3) material supply status; 4) product traceability. Based on this information, the actual conditions on the shopfloor can be known and monitored easily and accurately.

Keywords: Industry 4.0, cyber physical system, configurable virtual workstation, train industry.

1. Pendahuluan

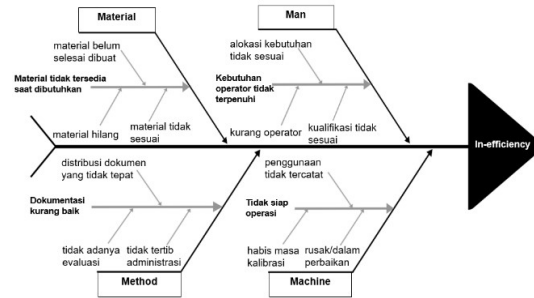
Perkembangan teknologi informasi yang begitu cepat telah membawa dampak besar pada industri manufaktur di dunia, sehingga memicu terjadinya revolusi industri ke-4. Pada tahun 2011, pemerintah Jerman telah memperkenalkan konsep “Industrie 4.0” untuk mengembangkan teknologi industri manufaktur di negaranya. Pada tahun 2014, pemerintah China meluncurkan rencana nasional 10 tahun mereka, yaitu “Made-in-China 2025” sebagai upaya untuk menjadi kekuatan manufaktur [1]. Kajian juga pernah dilakukan pada tahun 2018 mengenai bagaimana strategi India dalam melakukan lompatan teknologi manufaktur dari Industri 2.0 menuju Industri 4.0 [2]. Pada tahun 2018, Kementerian Perindustrian Indonesia juga telah merancang “Making Indonesia 4.0” sebagai sebuah peta jalan terintegrasi untuk implementasi sejumlah strategi dalam memasuki era

revolusi industri ke-4 yang menitikberatkan pada 5 sektor industri, yaitu industri makanan, tekstil, otomotif, bahan kimia, dan elektronik [3]. Meskipun strategi ini diusulkan untuk lingkungan yang berbeda-beda, tujuan umum mereka adalah untuk mencapai kecerdasan manufaktur. Salah satu tantangan khusus untuk mencapai manufaktur cerdas dengan strategi ini adalah cara menyatukan dunia fisik manufaktur dan dunia maya atau virtual, sehingga dapat mewujudkan serangkaian operasi cerdas di proses manufaktur, termasuk interkoneksi cerdas, interaksi cerdas, kontrol dan manajemen cerdas [4].

Salah satu teknologi yang menopang pembangunan sistem Industri 4.0 yaitu *Cyber Physical System* (CPS). CPS merupakan suatu sistem entitas komputasi yang berkolaborasi dan berhubungan secara intensif dengan dunia fisik di sekitarnya [5], [6]. Pengembangan CPS dapat dikelompokkan

menjadi 5 tahapan atau dikenal dengan istilah 5C, yaitu *Connection Level*, *Conversion Level*, *Cyber Level*, *Cognition Level*, dan *Configuration Level* [7]. Konsep *Configurable Virtual Workstation* (CVWs) untuk pembangunan CPS telah dikembangkan pada salah satu industri perakitan *Air Conditioning* (AC) di Indonesia sebagai tahap awal untuk menuju Industri 4.0 [8]. Kajian tersebut merupakan salah satu upaya untuk melakukan lompatan teknologi menuju Industri 4.0 tanpa harus melalui otomasi menggunakan mesin-mesin yang canggih. Konsep tersebut perlu pengembangan dan penerapan pada industri-industri sejenis yang lebih luas agar lebih optimal. Kajian ini mengusulkan pengembangan konsep *Configurable Virtual Workstation* (CVWs) pada salah satu industri di Indonesia yang masih menerapkan sistem manufaktur tradisional dan padat karya. Kajian dilakukan pada industri kereta dalam rangka memberikan solusi terhadap masalah *in-efficiency* pada proses perakitan.

Perakitan merupakan salah satu proses terpenting dalam proses produksi, karena kualitas, umur produk, kinerja, dan keandalan suatu produk sangat bergantung pada hasil perakitan. Sebagian besar industri telah mengambil tindakan untuk menerapkan manajemen produksi cerdas dalam rangka meningkatkan efisiensi perakitan, mengurangi biaya produksi, dan memastikan kualitas produk. Proses perakitan kereta dan gerbong secara umum memiliki karakteristik perakitan berbasis manual, produksi berjumlah sedikit, banyak variasi, dan kontrol kualitas yang ketat. Data setiap produk harus dikumpulkan, diatur, dan dikelola dengan baik, sehingga menjadi keseluruhan proses produksi yang dapat dipantau dan ditelusuri. Sistem yang diterapkan saat ini masih menggunakan sistem tradisional. Setiap transaksi data yang diperoleh dari rantai produksi dicatat dalam sebuah formulir dan didistribusikan oleh operator. Pemimpin unit membutuhkan waktu yang lama untuk mengumpulkan dan mengolah data dari operator menjadi sebuah informasi. Informasi menjadi tidak akurat ketika informasi tersebut telah selesai diolah dan tersedia karena data di lapangan telah berubah dari waktu ke waktu. Pengelolaan data produksi yang sangat banyak dan bervariasi merupakan hal yang sulit untuk dilakukan secara manual. Kesalahan dapat terjadi karena ketidaktepatan dan keterbatasan kemampuan operator dalam melakukan pencatatan, sehingga menyebabkan banyak permasalahan di rantai produksi. Selain itu untuk mengetahui siapa yang harus bertanggung jawab atas permasalahan tersebut juga menjadi suatu hal yang tidak mudah untuk ditelusuri. Permasalahan-permasalahan tersebut dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram akar permasalahan.

Dalam Gambar 2 ditampilkan data ketidaksesuaian produk di salah satu industri kereta. Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa kontribusi terhadap permasalahan atau ketidaksesuaian produk terbanyak diakibatkan oleh personel (52%) dan material (33%). Kurangnya pengawasan dan tingkat kepedulian operator terhadap pentingnya setiap elemen produksi akan berdampak pada kurang optimalnya proses produksi. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu media atau sistem untuk memudahkan pemantauan dan pengelolaan data di rantai produksi.

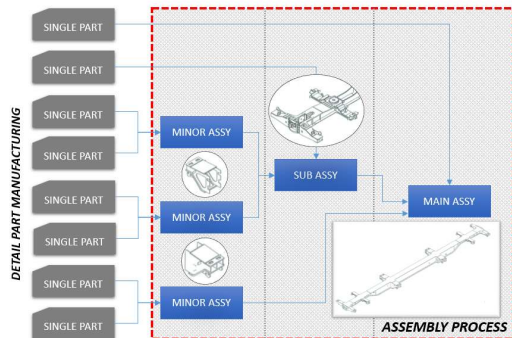


Gambar 2. Grafik komposisi akar permasalahan ketidaksesuaian produk.

Beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam kajian ini adalah sebagai berikut: 1) studi literatur dan manajemen data perakitan; 2) pengembangan konsep sistem *virtual workstation* perakitan; 3) pemodelan dan pengelolaan data perakitan; 4) sinkronisasi pemodelan proses perakitan berbasis *virtual workstation*; dan 5) validasi, analisis, dan penarikan kesimpulan data. Kajian ini mengusulkan pengembangan sistem pemantauan dan pengelolaan data produksi yang berbasis *Configurable Virtual Workstation* (CVWs) pada proses perakitan gerbong datar di industri kereta api. Tujuan kajian ini yaitu untuk mendapatkan data proses perakitan secara akurat dan *real-time* untuk diolah menjadi informasi jam kerja operator, operasi yang sedang berlangsung, status penyelesaian produk, status pasokan material, dan mampu telusur produk, agar proses perakitan menjadi lebih efektif dan efisien.

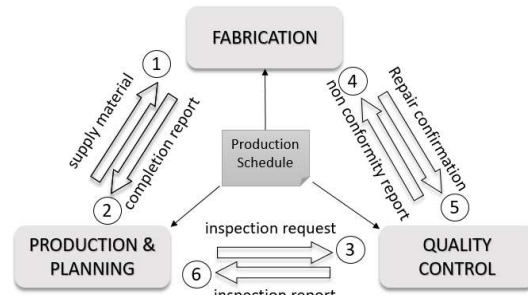
2. Metode

Proses perakitan gerbong datar merupakan proses penggabungan beberapa bagian atau *single part* yang disusun menjadi satu kesatuan produk berupa gerbong datar. Proses perakitan ini dilakukan secara bertahap mulai dari perakitan bagian kecil atau *minor assembly*, kemudian beberapa bagian kecil tersebut disusun menjadi *sub assembly*, selanjutnya disusun menjadi keseluruhan proses atau *main assembly*. Secara umum dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.



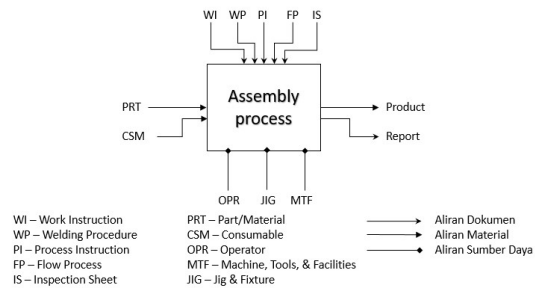
Gambar 3. Bagan proses perakitan struktur gerbong datar.

Pada proses perakitan terdapat beberapa aktivitas antara lain sebagai berikut: 1) pemasokan dan pemindahan material/produk antar stasiun; 2) proses perakitan; 3) proses pemeriksaan. Aktivitas tersebut melibatkan beberapa unit kerja yang saling terkait. Unit pengendalian bertugas untuk memasok dan memindahkan material dari dan ke stasiun serta memastikan bahwa material tersebut telah sampai dan diterima oleh operator di stasiun penerima. Operator harus menginformasikan ke unit pengendalian setelah operator menyelesaikan pekerjaannya untuk dilakukan pemeriksaan produk. Inspektur akan memberikan laporan hasil pemeriksaan jika produk yang diperiksa telah sesuai dan menginformasikan ke bagian pengendalian untuk dilakukan proses selanjutnya. Proses ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4. Semua transaksi yang terjadi harus tercatat dengan baik, mulai dari jenis transaksi, waktu transaksi, nomor produk yang sedang dikerjakan, operator yang melakukan, dan sebagainya. Saat ini semua informasi tersebut dapat diperoleh dengan cara mencatat dan mengumpulkan data-data yang telah didapatkan oleh operator di lantai produksi. Informasi tersebut akan lebih mudah didapatkan apabila semua elemen di lantai produksi dapat dimodelkan ke dalam bentuk *virtual*.



Gambar 4. Transaksional antar divisi pada proses perakitan.

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini yaitu dengan cara membuat model *virtual* elemen perakitan sesuai kondisi nyata di lantai produksi. Masing-masing elemen *virtual* ini akan saling terhubung dan berinteraksi secara intensif. Setiap perubahan kondisi maupun aktivitas yang terjadi di lantai produksi akan diinformasikan dan ditampilkan secara digital dalam *virtual workstation*. Gambar 5 menunjukkan input dan output proses perakitan yang akan digunakan sebagai acuan dalam pemodelan.

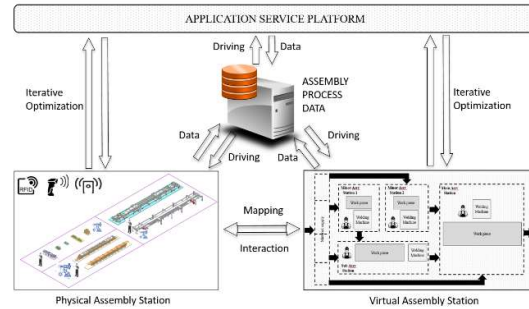


Gambar 5. Input dan output proses perakitan.

Beberapa elemen penting yang dapat dimodelkan dalam kerangka kerja antara lain adalah 4M1E, yaitu *man, machine, material, method, dan environment* [9]. Namun tidak semua elemen tersebut akan digunakan pada kajian ini. Setiap elemen yang akan dimodelkan harus memiliki identitas, baik dalam bentuk RFID, *barcode* atau dalam bentuk yang lain dan terdaftar di dalam basis data agar dapat dikenali dan terpantau oleh sistem [10]. Gambaran umum mengenai potensi penggunaan teknologi RFID di lantai produksi telah dikaji pada kajian sebelumnya yang menekankan bahwa tag RFID dapat meningkatkan dan mengoptimalkan proses produksi tetapi data perlu diproses [11]. Teknologi RFID memungkinkan sensor untuk membaca kode identifikasi produk tanpa kontak [12]. RFID dimanfaatkan ke dalam stasiun kerja, peralatan penting, komponen utama, dan wadah material yang sedang dalam progres untuk mengubah menjadi objek cerdas [13]. Sistem pengendali berupa kontrol dan sensor akan ditempatkan di pintu masuk dan keluar setiap workstation yang terhubung dengan model *virtual*. Material/produk yang akan melewati sistem pengendali akan dicatat di dalam basis data. Begitu

pula dengan operator, setiap akan mulai dan selesai bekerja harus melakukan pemindaian RFID. Data yang telah dikumpulkan di dalam server kemudian diolah dan ditampilkan menjadi informasi yang dapat dimanfaatkan oleh *Application Service Platform* perusahaan. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus dan berkesinambungan selama produksi berlangsung. Konsep *virtual workstation* yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 6. Berikut ini adalah aktivitas yang harus dilakukan oleh operator di setiap workstation:

- Masuk menggunakan data ID operator sebelum operasi dimulai. Aktivitas ini mengirimkan data waktu operator mulai bekerja.
- Memilih pekerjaan (*Work Instruction*) yang telah ditampilkan di layar monitor sesuai dengan jadwal dan lokasi stasiun kerja masing-masing. Aktivitas ini menunjukkan pekerjaan yang akan dilakukan oleh operator, termasuk informasi material apa saja yang diperlukan untuk proses tersebut.
- Memasukkan data ID material/produk yang akan diproses. Aktivitas ini dapat dilakukan dengan pemindaian data menggunakan *barcode* atau sejenisnya untuk memastikan kelengkapan dan kesesuaian material yang akan dirakit, sekaligus sebagai pencatatan ketelusuran produk.
- Mulai proses perakitan dengan cara menekan tombol “MULAI”, untuk pencatatan data waktu proses dimulai.
- Operator bisa mulai mengerjakan proses perakitan
- Menekan tombol “SELESAI” ketika proses selesai dan memberikan ID baru ke produk/material yang sudah selesai proses untuk dilakukan proses berikutnya. Aktivitas ini mengirimkan data waktu proses selesai dan secara tidak langsung akan menghitung durasi proses.
- Ulangi poin b, c, d, e, f untuk produk berikutnya.
- Keluar menggunakan data ID operator setelah semua operasi di hari itu selesai untuk pencatatan waktu operator selesai bekerja.



Gambar 6. Konsep configurable virtual workstation.

Beberapa data yang diperlukan dalam kajian ini antara lain adalah data operator, data stasiun kerja, data proses, struktur produk yang akan dirakit, dan sebagainya yang dimodelkan dalam bentuk tabel kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Seluruh aktivitas atau perubahan informasi mengenai data tersebut perlu direkam dan dikelola agar dapat dimanfaatkan secara cepat dan akurat. Pekerjaan tersebut akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang sering disebut sebagai DBMS (*Database Management System*). DBMS dapat digunakan untuk mendefinisikan basis data, membangun basis data, serta memanipulasi basis data.

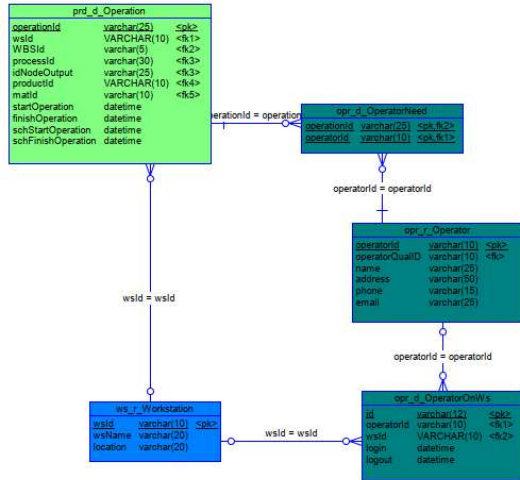
Tabel 1. Tabel-tabel kelas yang diperlukan dalam sistem.

No	Tabel	Keterangan
1	PRO_D_PROJECT	Model data proyek • ID proyek, ID pelanggan, nama proyek, tanggal kontrak, dsb.
2	PRD_R_PRODUCTTYPE	Model jenis produk • ID jenis produk, nama jenis produk, deskripsi produk, dsb.
3	PRD_R_STRUCTURE	Model struktur produk • ID node, ID induk node, nama, jumlah, dsb.
4	PRD_R_PROCESS	Model proses • ID proses, nama proses, durasi, dsb.
5	PRD_D_OPERATION	Model operasi • ID operasi, ID proses, waktu mulai, waktu selesai, dsb.
6	WS_R_WORKSTATION	Model stasiun kerja • ID stasiun kerja, nama stasiun kerja, lokasi, dsb.
7	MAT_D_MATERIAL	Model material • ID material, nama material, jenis material, dsb.
8	OPR_R_OPERATOR	Model data operator: • ID operator, nama operator, kualifikasi operator, dsb.

Berdasarkan data yang telah diperoleh, selanjutnya data tersebut perlu diolah agar menjadi informasi yang bisa dimanfaatkan sesuai dengan yang diharapkan. Pengolahan data tersebut dilakukan dengan cara membuat hubungan antar basis data menggunakan *query*.

3. Hasil dan Pembahasan

Informasi mengenai jam kerja operator dapat diperoleh dengan cara membangun hubungan antara data operator, operasi, dan stasiun kerja. Hubungan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 7. Hasil yang diperoleh yaitu berupa informasi ID operator, nama, jumlah jam kerja setiap operator pada rentang waktu tertentu yang dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



```

select D.OPERATORID, B.NAME, D.TOTAL_MAN_HOUR
from (select OPERATORID, SUM (MAN_HOUR) AS TOTAL_MAN_HOUR
from (select A.OPERATORID, B.NAME, A.WSID, A.LOGIN, A.LOGOUT, A.MAN_HOUR
from (select', (DATEDIFF(MINUTE, LOGIN, LOGOUT))/60-1 as MAN_HOUR
from OPR_D_OPERATORONWS) A
left join OPR_R_OPERATOR B on A.OPERATORID=B.OPERATORID) C
where LOGIN between '01-06-2022' and '30-06-2022')
group by OPERATORID) D
LEFT JOIN OPR_R_OPERATOR B on B.OPERATORID=D.OPERATORID
    
```

```

select F.OPERATORID, B.NAME, F.EFF_MAN_HOUR
from (select OPERATORID, SUM (MAN_HOUR) AS EFF_MAN_HOUR
from (select', (DATEDIFF(MINUTE, STARTOPERATION, FINISHOPERATION))/60 as MAN_HOUR
from OPR_D_OPERATORONWS) A
left join OPR_R_OPERATOR B on A.OPERATORID=B.OPERATORID
left join PRD_D_OPERATION C on A.OPERATIONID=C.OPERATIONID) D
where STARTOPERATION between '01-06-2022' and '30-06-2022')E
group by OPERATORID) F
LEFT JOIN OPR_R_OPERATOR B on B.OPERATORID=F.OPERATORID
    
```

Gambar 7. Hubungan basis data dan operator di stasiun kerja dengan data operasi.

OPERATORID	NAME	TOTAL_MAN_HOUR	
1	991100026	SUYATNO	16
2	991200003	RENO	8
3	991800017	ANTO	14
4	992000010	RASIDI	16

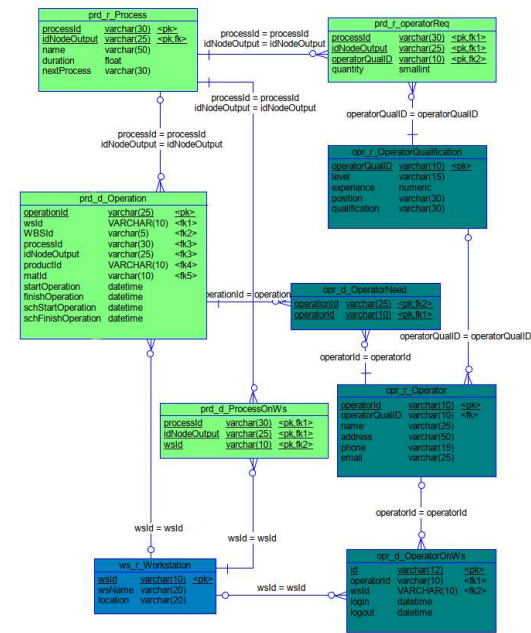
Gambar 8. Informasi total jam kerja operator.

Informasi pada Gambar 8 adalah informasi total jam kerja yang didapatkan dari aktivitas *log in* dan *log out* operator menggunakan RFID berdasarkan *query* pertama. Informasi tersebut akan berbeda jika diolah menggunakan *query* kedua yang memanfaatkan waktu mulai dan selesainya operasi sebagai dasar perhitungan jam kerja. Total waktu tersebut merupakan waktu efektif sebuah operasi. Hasil perhitungan jam efektif operator dapat ditunjukkan pada Gambar 9. Berdasarkan informasi tersebut maka bisa didapatkan total jam kerja operator maupun jam efektif operator.

OPERATORID	NAME	EFF_MAN_HOUR	
1	991100026	SUYATNO	8
2	991800017	ANTO	8
3	992000010	RASIDI	8

Gambar 9. Informasi jam efektif operator berdasarkan data operasi.

Informasi mengenai operasi yang sedang berlangsung, lokasinya berada di stasiun kerja mana, dan siapa yang mengerjakan dapat diperoleh dengan cara membangun hubungan antara basis data proses, operasi, stasiun kerja, operator dan kualifikasinya. Hubungan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 10.



```

select A.OPERATIONID, B.NAME, A.WSID, D.NAME, D.OPERATORID, E.DESKRIPSI from PRD_D_OPERATION A
LEFT JOIN PRD_R_PROCESS B on A.PROCESSID=B.PROCESSID
LEFT JOIN PRD_R_OPERATORREQ C on A.PROCESSID=B.PROCESSID
LEFT JOIN OPR_R_OPERATOR D on C.OPERATORQUALID=D.OPERATORQUALID
LEFT JOIN OPR_R_OPERATORQUALIFICATION E on C.OPERATORQUALID=E.OPERATORQUALID
LEFT JOIN OPR_D_OPERATORONWS F on D.OPERATORID=F.OPERATORID
where STARTOPERATION is not NULL and FINISHOPERATION IS NULL and LOGIN is not null and LOGOUT is NULL
    
```

Gambar 10. Hubungan basis data operasi, operator, proses, dan stasiun kerja.

Hasil yang diperoleh yaitu berupa informasi mengenai operasi yang sedang berlangsung, stasiun kerja, dan nama operator yang dapat ditunjukkan pada Gambar 11 berikut ini.

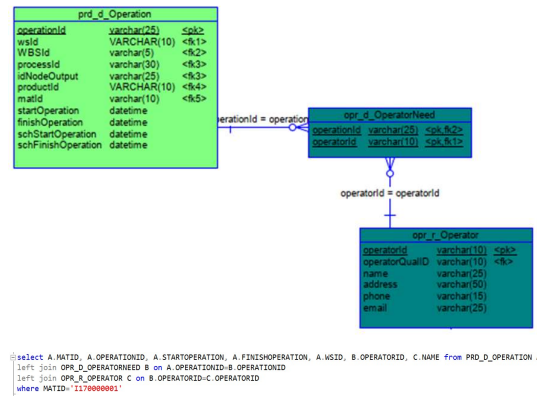
OPERATIONID	NAME	WSID	NAME	OPERATORID	QUALIFICATION
AS2191701100008_001	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	WELD02-1	SUYATNO	991100026	WELDING OPERATOR
AS2191701100008_001	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	WELD02-1	RASIDI	992000010	SENIOR WELDING OPERATOR

Gambar 11. Hasil pengolahan data operasi.

Berdasarkan informasi yang telah diperoleh tersebut, diharapkan proses produksi dapat dipantau secara *virtual* dan aktual menggunakan sistem ini, sehingga pekerjaan pemantauan akan menjadi lebih efektif dan efisien. Selain itu informasi yang diperoleh juga lebih

akurat untuk dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan jika sewaktu-waktu dibutuhkan.

Informasi mengenai kapan produk tersebut dibuat, di mana lokasinya, dan siapa operaturnya pada saat itu dapat diperoleh dengan cara membangun hubungan antara data operasi dan operator. Hubungan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 12. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data yaitu berupa informasi waktu operasi mulai, waktu operasi selesai, stasiun kerja, dan operator dari suatu produk yang dapat ditunjukkan pada Gambar 13. Berdasarkan informasi tersebut maka diharapkan bisa mengetahui *manufacturing data record* dari suatu produk dengan mudah.

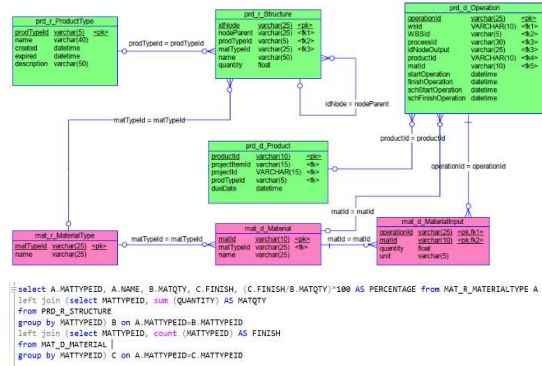


Gambar 12. Hubungan basis data operasi dan data operator.

MATID	OPERATIONID	STARTOPERATION	FINISHOPERATION	WSID	OPERATORID	NAME
1170000001	AS21311700800B_001	2022-06-21 07:30:00.000	2022-06-21 11:30:00.000	WELD2-1	991100026	SUYATNO
1170000001	AS21311700800B_001	2022-06-21 07:30:00.000	2022-06-21 11:30:00.000	WELD2-1	991800017	ANTO
1170000001	AS21311700800B_001	2022-06-21 07:30:00.000	2022-06-21 11:30:00.000	WELD2-1	992000010	RASDI

Gambar 13. Informasi manufacturing data record yang dapat digunakan sebagai informasi ketelusuran produk.

Informasi mengenai jumlah produk yang telah diselesaikan dan berapa besar persentase kemajuan dapat diperoleh dari hubungan struktur produk, material, dan operasi. Hubungan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 14.



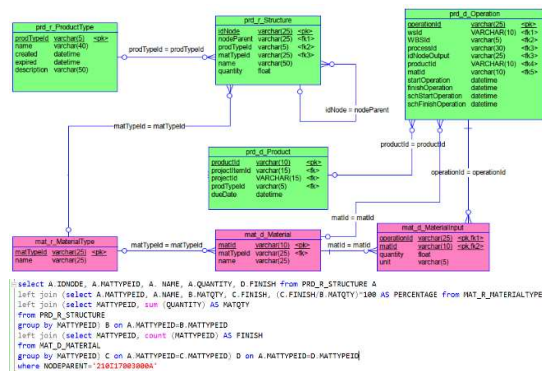
Gambar 14. Hubungan antara struktur produk, operasi, dan material.

Hasil yang diperoleh dari hal ini yaitu berupa informasi tipe material, nama material, jumlah material yang dibutuhkan, jumlah material yang terselesaikan, dan persentase prosesnya yang dapat ditunjukkan pada Gambar 15. Berdasarkan informasi tersebut maka diharapkan bisa mengetahui kemajuan proses produksi secara akurat.

MATTYPEID	NAME	MATQTY	FINISH	PERCENTAGE
210117003000A	STRUCTURAL ARRANGEMENT	1	0	0
211117001000A	HEADSTOCK ARRANGEMENT	1	0	0
211117001000B	HEADSTOCK ARRANGEMENT	1	0	0
211117001001	BACKING BARS	1	1	100
211117001001A	DRAFT GEAR POCKET WEAR LINER ARRANGEMENT	1	0	0
211117001002	BACKING BARS	4	1	25
211117001003	RIVET	4	1	25
211117001004	RIVET	6	1	16.6666666666667
211117002000A	HS OUTRIGGER ASSEMBLY	4	0	0
211117002000B	HS OUTRIGGER ASSEMBLY	4	0	0
211117002001	BACKING BARS	4	1	25
211117002001A	HS OUTRIGGER ASSEMBLY	4	0	0

Gambar 15. Hasil penelusuran kemajuan proses produksi.

Informasi mengenai ketersediaan pasokan material yang akan dirakit dapat diperoleh dari hubungan struktur produk dan tipe material. Hubungan tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Hubungan antara struktur produk dan tipe material.

Hasil yang diperoleh yaitu berupa informasi tipe material yang dibutuhkan, nama material yang dibutuhkan, jumlah material yang dibutuhkan, dan informasi material mana yang sudah tersedia maupun yang belum tersedia. Informasi tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 17. Berdasarkan informasi

tersebut maka diharapkan bisa mengetahui mengetahui kesiapan proses selanjutnya dari suatu produk.

IDNODE	MATYPEID	NAME	QUANTITY	FINISH
211117001000B	211117001000B	HEADSTOCK ARRANGEMENT	1	0
211117025000B	211117025000B	HEADSTOCK ARRANGEMENT - HB END	1	0
213117001000A	213117001000A	CENTER SILL ASSEMBLY	1	0
213117008000B	213117008000B	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	1	1
213117009000B	213117009000B	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	1	1
213117010000B	213117010000B	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	1	1
213117011000B	213117011000B	CONTAINER OUTRIGGER ASSEMBLY	1	0

Gambar 17. Hasil penelusuran kesiapan material untuk proses selanjutnya.

Informasi-informasi yang telah didapatkan dari hubungan antar basis data tersebut secara ringkas dapat ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Tabel informasi yang diperoleh dari sistem.

NO	INFORMASI	TUJUAN & MANFAAT
1.	Informasi mengenai jam kerja operator (Jam Orang/JO)	- Untuk mengetahui total jam kerja setiap operator - Untuk mengetahui jam efektif yang aktual berdasarkan data operasi
2.	Informasi mengenai kapan produk yang sedang berlangsung, lokasinya berada di stasiun kerja mana, dan siapa yang mengerjakan	- Untuk memantau proses produksi yang sedang berlangsung secara virtual - Untuk memperoleh informasi dari lantai produksi secara aktual
3.	Informasi mengenai kapan produk tersebut dibuat, dimana lokasinya, dan siapa operatornya pada saat itu	- Untuk memperoleh mampu telusur produk, operasi, dan operatornya - <i>Manufacturing data record</i> secara otomatis tersimpan
4.	Informasi mengenai jumlah produk yang telah dihasilkan dan berapa besar persentasenya	- Untuk mengetahui kemajuan proses produksi secara akurat dan <i>real-time</i>
5.	Informasi mengenai ketersediaan pasokan material yang akan dirakit	- Untuk mengetahui kesiapan proses selanjutnya

4. Kesimpulan

Rancangan konsep sistem pemantauan dan pengelolaan data produksi berbasis *Configurable Virtual Workstation* yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk memperoleh informasi jam kerja operator, operasi yang sedang berlangsung, status penyelesaian produk, status pasokan material, dan mampu telusur produk. Informasi tersebut didapatkan dari data-data yang telah dicatat, dikumpulkan, dan diolah oleh sistem dengan memanfaatkan teknologi *Cyber Physical System*, sehingga tidak diperlukan lagi pencatatan secara manual di dalam formulir oleh operator. Berdasarkan informasi tersebut maka kondisi aktual di lantai produksi dapat diketahui dan dipantau dengan mudah, akurat, dan *real-time*, sehingga proses perakitan bisa lebih efektif dan efisien. Pekerjaan selanjutnya akan lebih fokus pada pembuatan algoritma untuk mendapatkan tampilan antarmuka yang informatif serta implementasi secara langsung di lantai produksi untuk mendapatkan data secara langsung sehingga konsep yang telah dibuat dapat terus dikembangkan.

Daftar Pustaka

[1] L. D. Xu, E. L. Xu, and L. Li, 'Industry 4.0: state of the art and future trends', null, vol. 56, no. 8,

pp. 2941–2962, Apr. 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.

[2] A. Iyer, 'Moving from Industry 2.0 to Industry 4.0: A case study from India on leapfrogging in smart manufacturing', *Procedia Manufacturing*, vol. 21, pp. 663–670, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.169.

[3] 'Kemenperin: Making Indonesia 4.0: Strategi RI Masuki Revolusi Industri Ke-4'. <https://kemenperin.go.id/artikel/18967/Making-Indonesia-4.0:-Strategi-RI-Masuki-Revolusi-Industri-Ke-4> (accessed Mar. 30, 2021).

[4] F. Tao and M. Zhang, 'Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing', *IEEE Access*, vol. 5, pp. 20418–20427, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2756069.

[5] L. Monostori, 'Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges', *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 9–13, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.03.115.

[6] C. Liu and P. Jiang, 'A Cyber-physical System Architecture in Shop Floor for Intelligent Manufacturing', *Procedia CIRP*, vol. 56, pp. 372–377, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.10.059.

[7] J. Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, 'A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems', *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

[8] S. Raharno and G. Cooper, 'Jumping to Industry 4.0 through process design and managing information for smart manufacturing: Configurable virtual workstation', in *Industry 4.0 – Shaping The Future of The Digital World*, 1st ed., P. J. da Silva Bartolo, F. M. da Silva, S. Jaradat, and H. Bartolo, Eds. CRC Press, 2020, pp. 47–51. doi: 10.1201/9780367823085-9.

[9] H. Jiang, S. Qin, J. Fu, J. Zhang, and G. Ding, 'How to model and implement connections between physical and virtual models for digital twin application', *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 36–51, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.05.012.

[10] T. Kong, T. Hu, T. Zhou, and Y. Ye, 'Data Construction Method for the Applications of Workshop Digital Twin System', *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 323–328, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.02.003.

[11] C. Saygin and J. Sarangapani, 'RFID on the manufacturing shop floor: applications and challenges', in *IIE annual conference. Proceedings*, 2006, p. 1.

[12] C. C. Aggarwal and J. Han, 'A SURVEY OF RFID DATA PROCESSING', *MANAGING AND MINING SENSOR DATA*, p. 34.

[13] G. Q. Huang, Y. F. Zhang, X. Chen, and S. T. Newman, 'RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning

and control', *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 19, no. 6, pp. 701–713, 2008.