

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Manufaktur

Menurut (Tang, 2009), persyaratan sistem manufaktur yaitu mengubah bahan baku menjadi produk jadi untuk memenuhi pelanggan. Desain sistem manufaktur sangat penting karena kualitasnya, seperti *lead time*, yaitu periode antara waktu bahan baku masuk ke jalur produksi dan waktu produk akhir keluar dari jalur produksi dan level inventaris semuanya terkait dengannya. Dalam sistem manufaktur, ada beberapa elemen yang diperlukan, seperti pekerja, mesin, peralatan, jenis aliran produk dan sebagainya.

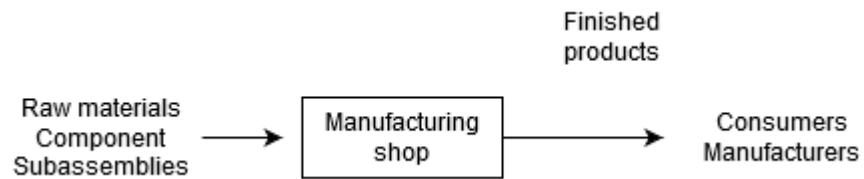
Mengenai elemen-elemen ini, ada banyak perbaikan yang bisa dilakukan. Dengan meningkatnya utilisasi pekerja dan mesin, akan ada lebih banyak produk yang keluar dari sistem manufaktur, dan diharapkan waktu tunggu akan lebih rendah. Selain itu, jika mesin dan pekerja bekerja di lingkungan yang lebih stabil, kualitas produk akan sangat sedikit bervariasi yang berarti lebih sedikit cacat pada produk akhir. Selain faktor-faktor yang disebutkan di atas, jika produksi mengalir lebih efisien, tingkat persediaan dapat lebih rendah, yang berarti lebih murah untuk melakukan pekerjaan dalam proses inventori.

2.2 Klasifikasi Sistem Manufaktur

Tang, (2009) menjelaskan dua jenis sistem manufaktur di lihat dari tahapannya, yaitu sistem manufaktur satu *workstation* (*Single-stage Manufacturing System*) dan sistem manufaktur multi *workstation* (*Multi-stage Manufacturing System*).

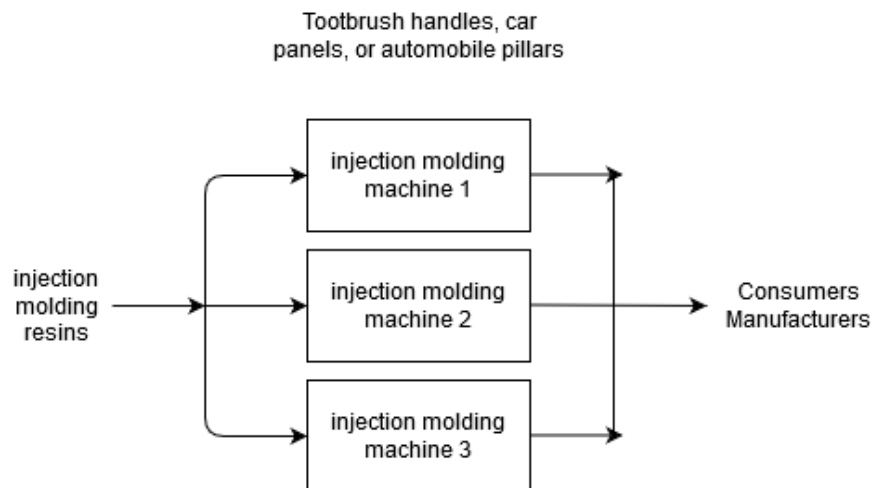
2.2.1 Sistem Manufaktur Satu Workstation

Sistem manufaktur satu tahap hanya memiliki satu *workstation* yang menerima bahan baku, komponen, dan *subassemblies* yang diperlukan dan kemudian dapat menyelesaikan semua operasi yang diperlukan untuk menyelesaikan produk, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Produk dapat dijual kepada konsumen atau dapat digunakan oleh produsen lain.

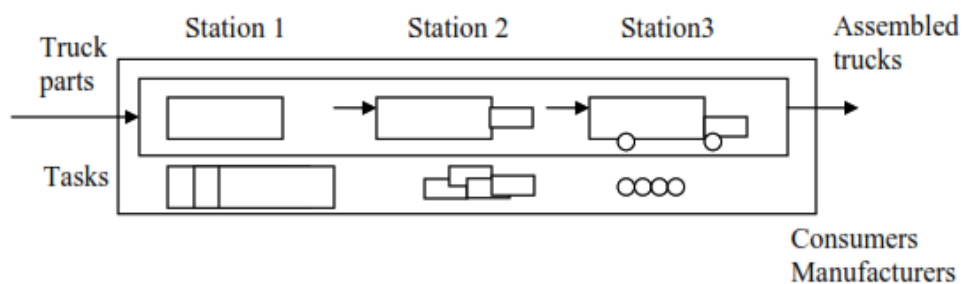


Gambar 2.1 Sistem Manufaktur Satu workstation

Sebagai contoh, proses pencetakan injeksi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Inputnya adalah resin cetak injeksi, dan toko manufaktur berisi beberapa mesin cetak injeksi. Outputnya dapat berupa produk-produk seperti pegangan sikat gigi, seluruh panel mobil, atau pilar untuk mobil. Contoh lain dari sistem manufaktur satu tahap adalah pabrik perakitan truk, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Sistem manufaktur satu workstation dengan mesin injeksi



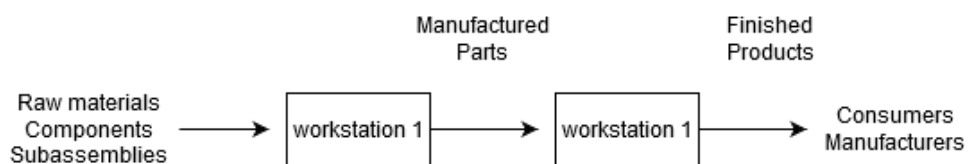
Gambar 2.3 Sistem manufaktur satu workstation dengan perakitan truk

2.2.2 Sistem Manufaktur Multi *Workstation*

Sistem manufaktur multi-tahap memiliki lebih dari satu *workstation* di dalamnya untuk menyelesaikan semua yang diperlukan operasi untuk memproduksi produk akhir. Ada tiga jenis multi-stage sistem manufaktur dan dijelaskan di bawah ini:

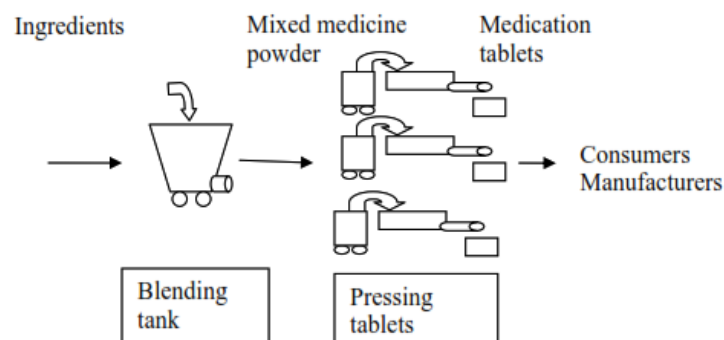
a. Sistem Manufaktur Multi *Workstation* Serial

Sistem ini, semua input melalui beberapa *workstation* dalam urutan yang sama, sebagai contoh, bahan baku melewati *workstation* dalam urutan *workstation* 1 dan 2, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem manufaktur multi *workstation* serial

Di perusahaan farmasi, semua bahan yang diperlukan dicampur dalam tangki besar, yang dapat dianggap sebagai *workstation* 1 dan kemudian bubuk campuran ditekan ke tablet di *workstation* 2, yang memiliki tiga mesin penekan tablet di dalamnya. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.5. Dalam contoh ini, *workstation* 1 memiliki karakteristik mesin tunggal dan *workstation* 2 memiliki karakteristik mesin paralel.



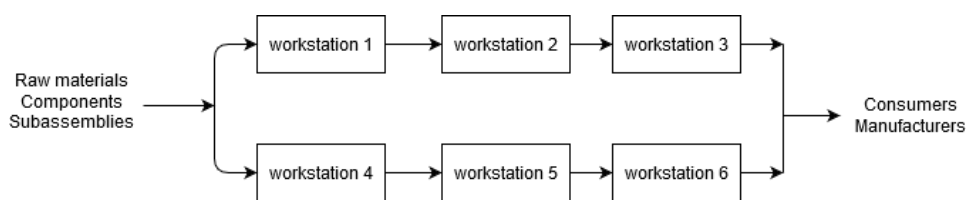
Gambar 2.5 Sistem manufaktur serial multi-*workstation* di perusahaan farmasi.

b. Sistem Manufaktur Multi *Workstation* Paralel

Sistem ini juga berisi dua jenis struktur, yaitu struktur independen dan modular.

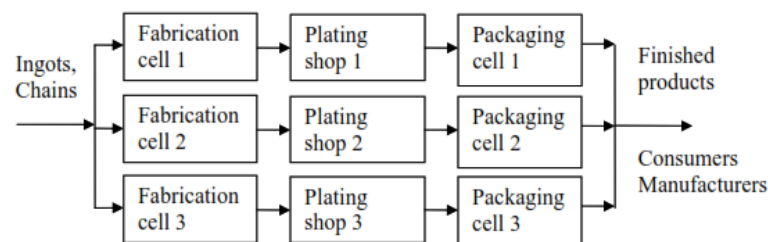
Struktur Independen

Dalam struktur ini, seperti yang ditunjukkan gambar 2.6, bagian yang masuk dapat melalui *workstation 1*, *workstation 2* dan *workstation 3* atau dapat melalui *workstation 4*, *workstation 5* dan *workstation 6*, berdasarkan berbagai kebutuhan atau pemanfaatan kapasitas.



Gambar 2.6 Sistem manufaktur multi-*workstation* parallel struktur *independent*

Di perusahaan pembuat perhiasan, biasanya dibutuhkan tiga langkah utama untuk menyelesaikan produk seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.

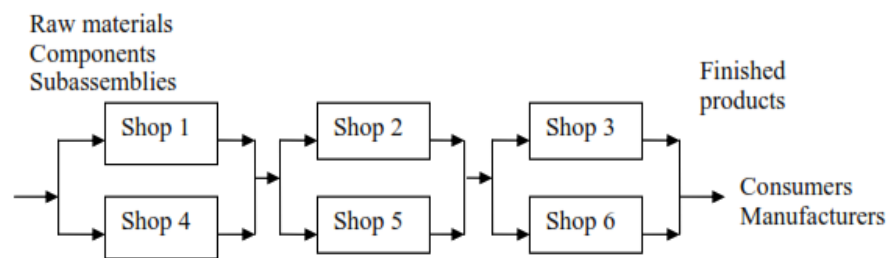


Gambar 2.7 Sistem manufaktur multi-*workstation* parallel di perusahaan perhiasan

Dalam sel fabrikasi, bahan baku dibentuk menjadi bentuk yang diperlukan melalui beberapa langkah seperti *casting*, *deburring*, *tumbling*, dan sebagainya. Di toko-toko pelapisan, logam berbentuk ditutupi dengan emas atau perak, dll. Dalam sel kemasan, batu-batu tersebut melekat pada komponen berlapis, yang kemudian dikemas dan dikirim.

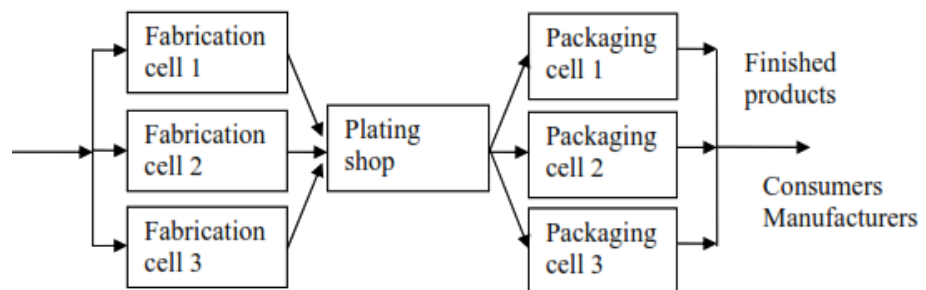
Struktur Modular

Dalam struktur ini, setiap modul dapat dianggap sebagai sistem paralel kecil yang independen. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, bagian-bagian dapat diproses di *workstation* 1 atau *workstation* 4 di modul pertama. Kemudian dalam modul 2, dapat diproses di *workstation* 2 atau *workstation* 5, dan seterusnya. Di setiap *workstation*, bisa ada satu mesin atau lebih. Pemilihan *workstation* yang berbeda dapat didasarkan pada kebutuhan – kebutuhan kapasitas yang berbeda.



Gambar 2.8 Sistem manufaktur multi-*workstation* paralel – struktur modular

Untuk contoh sebelumnya, ada kemungkinan tata letak lain, yaitu menggabungkan semua *workstation* pelapis menjadi satu *workstation* pelapis besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



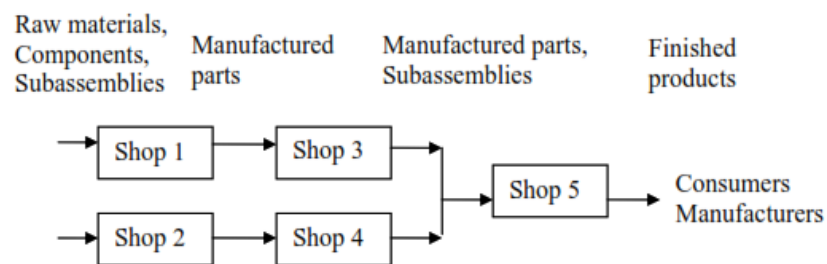
Gambar 2.9 Sistem manufaktur multi-tahap paralel pada perusahaan perhiasan

Dalam hal ini, struktur independen sebelumnya diubah menjadi struktur modular, yang memungkinkan lebih banyak fleksibilitas, karena ada tiga peluang

untuk memilih *workstation* terbaik yang tersedia, bukan hanya satu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.

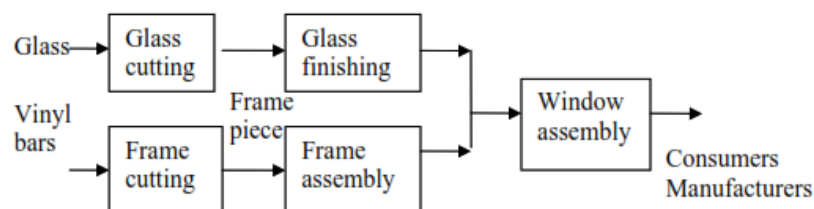
c. Sistem Manufaktur Multi *Workstation* Hibrid

Dalam hal ini, sistem manufaktur adalah kombinasi dari sistem paralel dan sistem satu tahap. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10, bagian-bagian melalui sistem manufaktur multi-tahap paralel pertama dan kemudian masuk ke *workstation* terakhir, yaitu *workstation* 5, untuk menyelesaikan semua operasi yang diperlukan untuk menghasilkan produk akhir.



Gambar 2.10 Sistem manufaktur multi-*workstation* hibrid

Ambil contoh perusahaan pembuat jendela. Diperusahaan ini, kaca pertama dipotong ke dimensi yang diperlukan dan kemudian selesai dengan pemolesan. Bingkai juga dipotong menjadi dimensi yang diperlukan dan kemudian dipasang ke bingkai jendela keseluruhan. Perusahaan memproses kaca dan bingkai pada saat yang sama, dan kemudian kaca dan bingkai dirakit bersama seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Sistem manufaktur multi-tahap perusahaan pembuat jendela

Dalam sistem manufaktur multi-tahap, apa pun jenisnya, produk akhir dihasilkan dari serangkaian operasi manufaktur seperti yang ditunjukkan pada

gambar tipe sistem manufaktur multi-tahap. Dalam hal ini, setiap jenis sistem produksi multi-tahap memiliki karakteristik yang sama. Sistem manufaktur multi-tahap terdiri dari lebih dari satu *workstation* dan beberapa variabel operasi manufaktur terlibat disetiap *workstation*. Kinerja setiap proses dalam seri yang mempengaruhi produk akhir adalah akumulasi dari seluruh proses yang dioperasikan bersama dengan sistem produksi (Arif et al., 2013c). Setiap *workstation* melakukan operasi manufaktur yang berbeda. sifat material berubah secara progresif disetiap stasiun kerja (Kaya & Engin, 2007).

2.3 Model Prediksi Kualitas

Dalam mengembangkan model prediksi kualitas dalam MMS, ada dua pendekatan alternatif. Alternatif pertama adalah mengembangkan satu model prediksi untuk seluruh lini produksi. Pendekatan ini, yang disebut pendekatan titik tunggal, memperlakukan operasi manufaktur yang dilakukan di setiap workstation seperti yang terjadi di *workstation* (Arif et al., 2013a). Berbagai teknik data mining seperti klasifikasi (Zhao et al., 2007), *clustering* (Fosså et al., 2013), *association rules* (Teixeira & Cavalca, 2008) telah digunakan untuk mengembangkan model prediksi kualitas menggunakan pendekatan ini.

Menurut (Arif et al., 2013c) berdasarkan cara praktis untuk menemukan kualitas inspeksi *workstation*, model prediksi kualitas dalam MMS dikembangkan dengan cara yang serupa, metode *single-point* atau titik tunggal mengembangkan satu model prediksi kualitas untuk seluruh lini produksi. Menggunakan pendekatan ini, statistik multivariat dan teknik data mining diterapkan pada berbagai industri. Teknik multivarian seperti PCA, *Partial Least Square (PLS)* dan *Multivariate Exponential Weighted Moving Average (MEWMA)* telah diterapkan di pendekatan ini. Misalnya, dalam proses pengilangan minyak dimana pembagian tahap tidak dapat dicapai dengan mudah, menurut (Abdi & Williams, 2010) mengusulkan model multi-PCA dengan transisi lunak antar *workstation*. Disisi lain, menurut (K. Shrivastava & Tantuway, 2011) mengusulkan PCA adaptif dengan filter autoregresif untuk mengembangkan model prediksi kualitas

menggunakan data historis untuk melacak perilaku dinamis proses kimia di Tennessee Eastman.

Pendekatan lain adalah mengembangkan satu model prediksi untuk setiap *workstation*. Pendekatan ini disebut pendekatan multi-point. Dengan menggunakan pendekatan ini, akan ada beberapa model prediksi untuk seluruh lini produksi (Arif et al., 2013a). *Clustering* (Anyanwu & Shiva, 2009), PCA (Abdi & Williams, 2010) dan PLS (Du et al., 2011) adalah beberapa teknik yang digunakan untuk mengembangkan model prediksi.

Pendekatan multi-point mampu memodelkan perilaku *workstation* tertentu. Dengan kata lain, pendekatan ini menghasilkan model yang mampu menjelaskan hubungan antara variabel operasi manufaktur di *workstation*. Namun, pendekatan ini dapat tidak efektif mengingat bahwa pengukuran *workstation* mungkin dikacaukan oleh efek kumulatif dari *workstation* sebelumnya (Zou & Tsung, 2008).

2.4 Cascade Quality Prediction Method (CQPM)

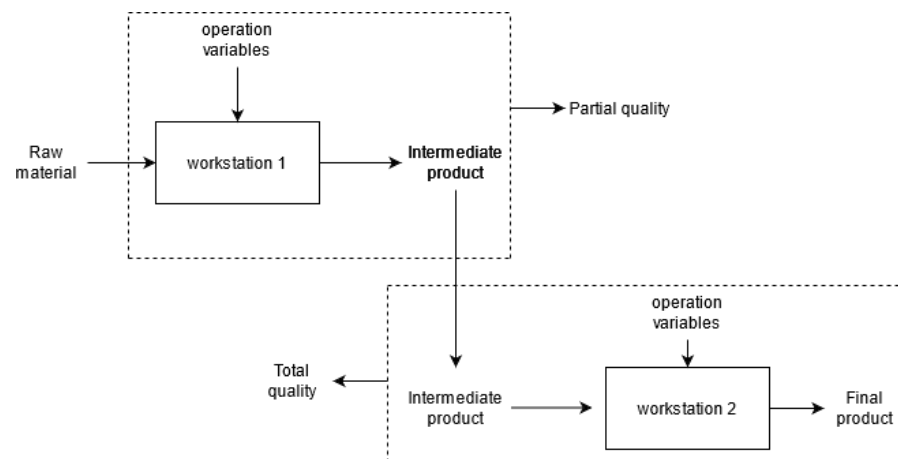
Menurut (Arif et al., 2013c), selain *single-point* dan *multi-point*, mereka mengusulkan *Cascade Approach* untuk membangun model prediksi kualitas untuk MMS. Metode ini yaitu CQPM. Pada akhirnya, kualitas produk akhir diwakili oleh karakteristik produk. Metode ini adalah rancangan berdasarkan hubungan variabel dalam MMS. Menurut (Arif et al., 2013c) menjelaskan kondisi hubungan variabel dalam MMS sebagai berikut:

- a. Operasi variabel manufaktur dalam *workstation* saling terkait dan mempengaruhi kualitas *output* dari *workstation* tersebut.
- b. Kualitas *output* dari *workstation* dipengaruhi tidak hanya oleh manufaktur di *workstation* tertentu tetapi juga oleh *output* dari *workstation* sebelumnya.
- c. Kualitas produk akhir dipengaruhi oleh seluruh variabel operasi manufaktur.

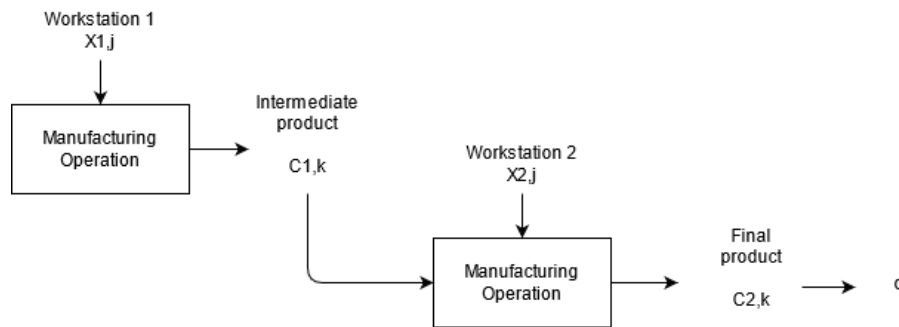
Berdasarkan kondisi di atas, hubungan variabel kompleks dalam MMS dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Hubungan antara operasi manufaktur di *workstation* (R_1)
- b. Hubungan antara *workstation* (R_2)
- c. Hubungan antara operasi variabel manufaktur dan kualitas produk akhir (R_3)

Berdasarkan konsep kualitas parsial dan total seperti yang dijelaskan oleh (Zhao et al., 2007), karakteristik *output* dari *workstation* dipengaruhi oleh operasi manufaktur tertentu dan semua *workstation* sebelumnya. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam dua *workstation* MMS seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Mempertimbangkan kualitas parsial dan total dalam *workstation* seperti yang ditunjukkan pada gambar. 2.12, hubungan antara variabel dalam MMS dapat diilustrasikan seperti yang ditunjukkan pada gambar. 2.13.



Gambar 2.12 Kualitas parsial dan total di dua *workstation* MMS



Gambar 2.13 Hubungan variabel di dua *workstation* MMS

Menurut (Arif et al., 2013c) CQPM memperkenalkan pemanfaatan variabel laten, yang dinamakan karakteristik produk untuk memodelkan hubungan di setiap *workstation* sehingga kompleksitas dalam hubungan variabel dapat di kurangi. Dengan menggunakan variabel laten bernama karakteristik produk ($C_{i,k}$), R_1 dan R_2 diwakili oleh $C_{i,k}$, R_3 diwakili oleh hubungan antara $C_{i,k}$ dan tingkat kualitas produk (q). Hubungan–hubungan ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_{i,k} = f(C_{(i-1),k}, X_{i,j}) \quad (1)$$

dan

$$q = f(C_{n,k}) \quad (2)$$

$C_{i,k}$ dimana

k^{th} yaitu hasil produk karakteristik

i^{th} *workstation*

$i = 1,2,3, \dots, n$

$k = 1,2,3, \dots$

$X_{i,j}$ variabel operasi manufaktur di *workstation* i^{th}

$j = 1,2,3, \dots$

untuk menyatakan persamaan (1), tanpa pengetahuan yang mendasari hubungan antara $X_{i,j}$, proses menemukan keterkaitan variabel yang saling berhubungan yaitu sama dengan mengekstraksi variabel-variabel tersebut ke dalam beberapa set dimensi baru. Ide ini sama persis dengan teknik PCA. Menurut (Fosså et al.,

2013) PCA telah banyak digunakan sebagai metode untuk mengekstraksi informasi yang relevan dari kumpulan data yang kompleks.

Dalam prediksi kualitas, PCA digunakan untuk mendefinisikan set variabel baru dengan mengubah beberapa variabel operasi manufaktur yang berkorelasi. PCA digunakan untuk mengembangkan model prediksi dari dataset historis ketika data kualitas produk tidak tersedia (Teixeira & Cavalca, 2008). Kualitas produk dimonitor berdasarkan pada variabel operasi manufaktur yang diubah. Misalnya, ada dua variabel yang saling berkorelasi (x_1 dan x_2). Dengan menggunakan PCA, satu set variabel yang saling berkorelasi dapat ditransformasikan menjadi seperangkat variabel tidak berkorelasi yang baru, biasanya disebut *principal component* (PC), sebagai berikut:

$$PC_j = \sum_{i=1}^n a_{j,i} x_i \quad (3)$$

Dimana:

$a_{j,i}$ = j^{th} weight of x_i to PC_j

x_i = i^{th} inter-correlated variabel

PC_j = j^{th} *Principal Component*

di dalam PCA, $a_{j,i}$ adalah konstanta yang harus ditentukan. Nilai $a_{j,i}$ menunjukkan jumlah kontribusi x_i ke PC_j . Untuk menentukan $a_{j,i}$, matriks kovarians dari variabel yang terlibat harus dihitung terlebih dahulu. Kemudian, vektor eigen dari matriks kovarians harus dihitung. Vektor eigen dari matriks kovarians digunakan sebagai berat atau konstan ($a_{j,i}$). Karenanya, komponen utama (PC_j) adalah kombinasi linear dari variabel asli (x_i) dengan vektoreigennya Teixeira & Cavalca (2008), Abdi & Williams (2010).

Dalam persamaan (2), teknik klasifikasi dapat digunakan karena tingkat kualitas produk sering dinyatakan dalam kategori baik diterima atau ditolak sementara data operasi manufaktur dapat dinyatakan dalam variabel numerik atau nominal. Salah satu teknik klasifikasi tersebut adalah *decision tree*. Menggunakan

decision tree, hubungan antara variabel operasi manufaktur dan tingkat kualitas produk dapat dinyatakan dalam beberapa aturan *if-then* (Arif et al., 2013a). Diantara banyak algoritma *decision tree*, ID3 yang paling banyak biasanya digunakan (K. Shrivastava & Tantuway, 2011). Di dalam penelitian Arif et al. (2013a), mereka meringkas dari beberapa hasil menurut (K. Shrivastava & Tantuway, 2011), (Anyanwu & Shiva, 2009), (Du et al., 2011), (Chen et al., 2009) dan (Fan & Yin, 2009) kelebihan dan kekurangan dari algoritma ID3 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Kelebihannya yaitu sederhana, mampu menangani objek dalam jumlah besar, klasifikasi kecepatan tinggi (waktu komputasi meningkat secara *linear* dengan kesulitan masalah) dan menghasilkan aturan klasifikasi yang mudah dipahami.
- b. Kekurangannya yaitu hanya dapat menangani variabel kategorikal, peka terhadap kebisingan dan kesalahan klasifikasi sering terjadi dalam menangani atribut dengan nilai terlalu banyak.