

ANALISIS MODULARITAS MENGGUNAKAN METODE DFM PADA GENERATOR DESINFEKTAN PT. PG KREBET BARU

Muhammad Ihsan. H, Wiwik Budiawan.

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH. Semarang 50239

Telp. (024) 7460052

E-mail: m.ihsan.led@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini berisi tentang analisis pada generator desinfektan. Proses ini dilakukan dengan pendekatan Design for Modularity yang bertujuan untuk memetakan modul-modul yang terdapat pada generator desinfektan. Modul-modul tersebut berkaitan akan diklasifikasikan menjadi modul fungsional dan fisik. Hal ini bertujuan untuk mengelompokkan modul sesuai dengan fungsi yang dimaksud maupun interaksi fisik antar komponennya. Proses dimulai dengan menganalisis kebutuhan sub-sistem tertentu, hal ini bertujuan untuk menetapkan fungsi kebutuhan umum dan fungsi objektif dari perancangan sub-sistem tersebut. Proses selanjutnya ialah membentuk diagram arus fungsi yang merupakan daftar item dari sub-sistem yang dipadankan dengan fungsi kebutuhan umum baik secara fungsional maupun hubungan fisik komponen. Pada tahap selanjutnya, pembentukan identifikasi spesifikasi tingkat sistem (SLS) dilakukan dengan pembentukan tabel rekap perpadanan antara komponen dengan fungsi kebutuhan umum maupun fisik antar komponen. Hasil dari identifikasi SLS akan membentuk indeks kesamaan fungsi yang akan menentukan pengelompokkan komponen sub-sistem menjadi modul-modul yang memiliki derajat kesamaan yang tinggi. Pada akhirnya, kombinasi pengelompokkan komponen sub-sistem dilakukan dengan melakukan variasi pengelompokkan.

Kata kunci: *Desain untuk modularitas, Modularitas sub-sistem.*

ABSTRACT

This research is about analysis on disinfectant generator. This process is done by Design for Modularity approach that aims to map the modules contained in the disinfectant generator. The related modules will be classified into functional and physical modules. It aims to group the module in accordance with the intended function and physical interaction between its components. The process begins with analyzing the needs of a particular sub-system, which aims to establish the general functional requirements and objective functions of the design of the sub-system. The next process is to form a function flow diagram which is a list of items from sub-systems that are paired with general functional functions both functionally and physically related components. In the next stage, the establishment of System Level Specification identification (SLS) is done by forming a recap table of matching between the components with the function of general and physical needs among components. The results of SLS identification will form a commonality index function that will determine the grouping of sub-system components into modules that have a high degree of similarity. Finally, the combination of grouping of sub-system components is done by grouping variations.

Key word: *Design for modularity, Sub-system modularity.*

1. PENDAHULUAN

PT Rajawali Nusantara Indonesia mengembangkan mesin pembangkit ozon untuk mensubstitusi penggunaan bahan-bahan kimia pada proses pengolahan gula pasir. Mesin tersebut bekerja dengan prinsip *dielectric barrier discharge* sebagai agen ionisasi partikel udara dengan *output* ozon yang didapatkan dari pemecahan molekul oksigen bebas di udara.

Mesin ini terdiri dari sub-sistem yang diklasifikasikan sebagai berikut: injeksi medium, reaktor, pembangkit voltase tinggi, dan pengaliran udara. Mesin ini dirancang dan telah diimplementasikan pada dua pabrik gula milik PT Rajawali Nusantara Indonesia yaitu pada PT Rejo Agung baru dan PT PG Krebet Baru dan telah beroperasi semenjak 28 Mei 2015 dan di pratinjau pada 10 Februari 2016.

Pada proses pratinjau yang dilakukan, terdapat permasalahan pada reparasi sub-sistem reaktor. Hal tersebut ditengarai oleh kesulitan untuk membongkar sub-sistem dan melakukan perbaikan secara cepat, hal ini dinilai penting karena generator ozonizer diharuskan bekerja selama 6 bulan periode giling (5000 jam tanpa berhenti). Kesulitan ini secara umum disebabkan oleh komponen-komponen pembentuk sub-sistem yang terhubung tanpa keterkaitan antar fungsinya, sehingga pada proses reparasinya, proses mengganti komponen yang rusak akan mempengaruhi komponen lainnya yang tidak memiliki hubungan terhadap kerusakan. Dapat disimpulkan bahwa, penggantian komponen yang rusak akan mengakibatkan generator berhenti total hingga dapat diperbaiki, sedangkan generator harus bekerja 5000 jam tanpa berhenti.

Kondisi tersebut dapat diminimalisir bahkan dieliminasi dengan menerapkan pengelompokan terhadap *chunk* fungsi pada sub-sistem reaktor. Dengan menerapkan pengelompokan *chunk*, kerusakan maupun *error* pada suatu *chunk* fungsi A tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap *chunk* fungsi B.

Dengan kata lain, permasalahan reparasi dapat dilakukan dengan cepat tanpa perlu mematikan mesin. Pengelompokan *chunk* ini juga berguna untuk mengadakan kesinambungan terhadap aspek produksi maupun pengembangan teknologi yang terkait. Dengan menerapkan pengelompokan *chunk*, proses pemroduksian alat menjadi lebih terfokus dan dapat mengejar produksi masal, baik untuk pembuatan generator baru maupun suku cadang terkait. Pada umumnya pembuatan *chunk* tersebut merupakan hasil akhir dari pengelompokan modul fungsi dari sistem terkait. Berdasarkan kriterianya, terdapat dua proses yang umum digunakan untuk menciptakan pengelompokan fungsi tersebut, yaitu: *Design for Upgrading*, dan *Design for Modularity*

Melihat konteks permasalahan yang terjadi, *design for modularity* ditimbang dapat memberikan solusi terkait dengan permasalahan yang telah didefinisikan sebelumnya. Hal tersebut menimbang pengelompokan modul-modul fungsi dan fisik sub-sistem yang berkaitan dengan bagaimana sebuah komponen bekerja dan berinteraksi untuk mencapai fungsi yang dimaksud. Pada akhirnya, sebuah kesatuan modul harus didefinisikan secara baik, hal ini menimbang kemudahan untuk perbaikan fungsi yang efektif dan efisien serta menciptakan pengaruh yang signifikan terhadap proses perancangan untuk perakitan dan pembongkaran serta meningkatkan kapabilitas pengembangan teknologi dan skala produksi.

Demi terciptanya pengembangan fungsi yang baik, kemudahan perakitan, dan perhubungan fungsi yang jelas, perlu dilakukan studi lanjutan mengenai pembentukan modul-modul fungsional dan fisik yang terdapat pada sub-sistem reaktor. Hal ini dinilai penting demi mempermudah proses pengembangan sub-sistem maupun dapat dijadikan acuan urutan langkah pemasangan sub-sistem pada lini perakitan maupun pembongkaran sub-sistem jika perawatan dilakukan.

Dari latar belakang tersebut, maka dapat ditarik perumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu bagaimana menjabarkan menjabarkan *system level specification* dan membentuk perhubungan fungsional dan fisik komponen untuk membentuk suatu modul pada sub-sistem reaktor.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi fungsi dan fitur komponen
2. Mengidentifikasi *system level specification* dan *general function requirement*.
3. Menjabarkan perhubungan antara *system level specification* dengan *general function requirement*.

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada PT PG Krebet Baru dengan lokasi pada Plant Krebet Baru 1 dan Plant Krebet Baru 2.
2. Data pengamatan diperoleh dari pengukuran langsung maupun cetak biru (*blueprint*) yang dimiliki oleh pengembang mesin ozonizer PT PG Krebet Baru.
3. Fokus pembahasan dibatasi hingga analisis *modularity* sub-sistem yang merujuk pada fitur-fitur dan fungsi-fungsi komponen yang ditinjau.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Kebutuhan Produk

Analisis kebutuhan produk merupakan abstraksi suatu fungsi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen, hal ini mencakup kebutuhan fungsional, kebutuhan operasional dan fungsi kebutuhan umum.

Functional Objective (tujuan fungsional) merupakan abstraksi dari fungsi suatu produk yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Tujuan fungsional menyediakan informasi mengenai apa yang seharusnya dilakukan oleh produk, fungsi ini dapat menjadi dasar dari operasi ataupun transformasi yang harus dilakukan suatu sistem demi memenuhi kebutuhan primer konsumen (Kamrani dkk, 2002).

Kebutuhan utama konsumen umumnya merupakan kebutuhan utama yang menjadi motif konsumen dalam membeli suatu produk. Konsumen mengasumsikan bahwa kebutuhan tersebut merupakan hal yang nyata dan tidak perlu diindikasikan, sebagai contoh, kebutuhan utama dari sebuah sistem rem mobil ialah untuk memberhentikan laju mobil sebagaimana dimaksudkan oleh pengendara. Kebutuhan ini merupakan sesuatu yang sangat jelas sehingga konsumen tidak perlu menyatakan hal ini secara langsung kepada pengembang sistem.

Analisis kebutuhan akan mengidentifikasi kondisi operasional dan batasan fisik dari sebuah produk yang di investigasi, yang harus diterjemahkan kedalam kebutuhan operasi fungsional yang disajikan dengan data se-kuantitatif mungkin. Kebutuhan operasi fungsional yang rinci menyediakan informasi representatif yang spesifik mengenai set kendala yang harus dipenuhi oleh desain untuk memenuhi fungsi yang dimaksudkan oleh produk. Kebutuhan operasi fungsional dapat merupakan hasil dari pengolahan informasi dari berbagai bagian perusahaan seperti: staf marketing, perancang teknis, insinyur manufaktur, *supplier*, dan konsumen dan umumnya disajikan dalam bentuk rentangan nilai

General Function Requirement (Fungsi kebutuhan umum) merupakan kriteria yang dibuat oleh perancang yang merupakan hasil analisis dari kebutuhan konsumen untuk mengevaluasi desain yang akan dibuat. Kebutuhan tersebut bertujuan untuk memenuhi kebutuhan primer dan sekunder konsumen yang menjadi faktor kritis yang membedakan produk kompetitif yang akan menyelesaikan fungsi yang sama. Fungsi kebutuhan umum akan berbeda berdasarkan calon pasar ataupun calon pengguna yang dituju dan dapat berkaitan dengan fitur-fitur kualitatif produk seperti warna dan tampilan produk (Kamrani dkk, 2002).

Analisis Konsep/Produk

Analisis konsep/produk merupakan dekomposisi dari sebuah produk menjadi dasar fungsional dan fisik elemen. Elemen tersebut harus mampu dicapai oleh fungsi produk. Elemen fungsi didefinisikan sebagai operasi dan transformasi individual yang berkontribusi terhadap performa sistem secara keseluruhan. Elemen fisik dapat berupa *parts*, komponen, dan *subassemblies* yang diimplementasikan kedalam fungsi produk

Analisis konsep produk terdiri dari dekomposisi fisik produk dimana produk didekomposisikan menurut dasar fisik komponen yang ketika dirakit menjadi satu akan memenuhi fungsi produk. Dekomposisi fisik harus menghasilkan identifikasi dari komponen basis yang harus dirancang atau dipilih untuk melakukan fungsi produk. Dekomposisi fungsi produk menjelaskan fungsi keseluruhan produk dan identifikasi fungsi komponen, juga *interfaces* antara komponen fungsional yang diidentifikasi. Kedua jenis dekomposisi, baik fungsional maupun fisik dapat direpresentasikan menjadi diagram fungsi-struktur yang mengilustrasikan hubungan-hubungan yang terdapat dalam komponen.

Dekomposisi Fisik Produk

Produk didekomposisikan menjadi sub-sistem ataupun sub-assembly yang terstruktur hingga menjadi sebuah produk yang memiliki fungsi yang telah ditetapkan. Proses dekomposisi harus terus dilanjutkan hingga mencapai level komponen basis.

Dekomposisi memiliki tujuan untuk merepresentasikan fungsi individual dari produk dan komponennya. Sebuah fungsi dapat diimplementasikan oleh elemen fisik komponen ataupun kombinasi dari penyatuan komponen dengan maksud yang spesifik. Komponen fungsional disusun berdasarkan beberapa set untuk memenuhi fungsi kombinasi yang dimaksudkan (Akiyama, 1991).

Untuk menganalisa fungsi produk, fungsi keseluruhan produk harus dikonsepsi menjadi sebuah pernyataan aksi, lalu fungsi keseluruhan akan dipecah menjadi sub-fungsi yang akan didekomposisikan menjadi fungsi level bawah lainnya. Pemecahan fungsi tersebut berlanjut hingga setiap komponen memiliki fungsi-fungsi yang mewakili komponen tersebut. Pada tahap ini, fungsi tersebut dipetakan ke dalam komponen dan komponen disusun untuk membentuk sub-assembly yang mengarah pada perakitan keseluruhan yang pada akhirnya mencapai fungsi keseluruhan.

Diagram arus fungsi dapat digunakan untuk merepresentasikan bagaimana fungsi-fungsi tersebut diimplementasikan kedalam sebuah sistem. Diagram arus fungsi akan menunjukkan bagaimana setiap komponen mendukung sebuah fungsi produk keseluruhan. Fungsi komponen harus memberikan alasan penggunaan komponen tersebut. Dalam point

tersebut, terdapat 2 kategori fungsi yang diidentifikasi: fungsi primer dan fungsi pembantu (Gero, 1990).

- Fungsi primer: Merupakan fungsi yang secara langsung menyokong fungsi keseluruhan sebuah produk
- Fungsi pembantu: Merupakan fungsi yang secara tidak langsung menyokong fungsi keseluruhan produk atau menyokong fungsi primer suatu part.

Integrasi Konsep/Produk

Komponen basis yang dihasilkan dari dekomposisi proses harus disusun kedalam sebuah modul dan diintegrasikan menuju bagian fungsional sistem. Cara bagaimana komponen disusun kedalam sebuah modul akan mempengaruhi desain dari suatu produk. Modul yang tercipta dapat digunakan sebagai struktur pengembangan yang dibutuhkan oleh tim pengembang. Berikut merupakan langkah-langkah yang diasosiasikan dengan integrasi produk

System-level specification merupakan hubungan satu-ke-satu antara komponen dengan karakteristik fungsional dan karakteristik fisiknya. Karakteristik fungsional merupakan hasil dari operasi dan transformasi yang dilakukan komponen untuk berkontribusi membentuk keseluruhan performas produk. Karakteristik fisik merupakan hasil dari penggembungan, perakitan, dan geometri yang diimplementasikan kepada fungsi produk.

Berikut merupakan pedoman untuk mengidentifikasi hubungan karakteristik fungsional dan fisik serta struktur hirarki yang menjadi rujukan (Akiyama, 1991):

A. Karakteristik fungsional:

- Identifikasi fungsi utama berdasarkan dekomposisi fungsional
- Identifikasi kebutuhan operasi dan transformasi yang harus dilakukan untuk mencapai fungsi tujuan berdasarkan diagram arus fungsi
- Dokumentasi mengenai operasi dan transformasi
- Mengkategorikan operasi dan transformasi menjadi struktur hierarki

B. Karakteristik fisik:

- Identifikasikan segala kendala fisik yang terlihat pada produk berdasarkan analisis kebutuhannya.
- Identifikasikan kemungkinan penyusunan atau perakitan dari komponen berdasarkan pengalaman sebelumnya, desain yang mempunyai kemiripan, pengetahuan

keteknikan, atau inovasi konsep maupun desain.

- Dokumentasi mengenai penyusunan ataupun perakitan
- Mengkategorikan penyusunan dan perakitan menjadi struktur hirarki

Karakteristik fisik dan fungsi yang membentuk sebuah *system-level specification* disusun menjadi hierarki deskripsi yang dimulai dengan komponen dengan *top level* dan berakhir hingga deskripsi detail pada komponen tingkat bawah (*bottom level*). Deskripsi tingkat bawah digunakan untuk menentukan hubungan antar komponen, bernilai 1 jika mempunyai hubungan dan 0 jika tidak mempunyai hubungan.

Identifikasi Pengaruh dari *System-Level Specification Terhadap Functional Requirement*.

System-level specification (SLS) yang diidentifikasi dalam langkah sebelumnya akan mempengaruhi *general functional requirement* (GFR) dengan praduga bahwa beberapa spesifikasi akan membantu memenuhi beberapa kebutuhan pada GFR, sementara beberapa spesifikasi akan menghalangi implementasi beberapa kebutuhan pada GFR. Pengaruh SLS terhadap GFR harus diidentifikasi secara jelas, hal tersebut membantu pengembangan produk yang akan memenuhi derajat fungsional yang telah didefinisikan pada GFR (Kamrani dkk, 2002). Pengaruh ini akan dinilai berdasarkan:

- -1 = Dampak negatif
- 0 = Tidak terdapat pengaruh
- +1 = Dampak positif

Dampak negatif memberikan representasi yang memberikan efek negatif terhadap GFR, seperti membatasi sejauh mana produk akan memenuhi GFR atau mencegah produk untuk mengimplementasikan GFR. Dampak positif, tentu saja memberikan efek yang diinginkan dan akan memenuhi GFR yang pada akhirnya memenuhi keinginan konsumen.

Perbandingan antara SLS dan GFR dapat diperingkas menjadi sebuah tabel yang berisikan nilai perbandingan terhadap spesifikasi dengan GFR pada tiap-tiap spesifikasi.

3. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Analisis kebutuhan sub-sistem
2. Identifikasi dekomposisi fungsi dan fisik konsep/produk
3. Penjabaran *SLS* dan pembentukan *similarity index*.
4. Analisis variasi modul

4. HASIL PENELITIAN

Analisis Kebutuhan Sub-Sistem Reaktor

Analisis kebutuhan ini didapatkan melalui dokumen cetak biru pengembang generator desinfektan, berikut merupakan hasil analisis kebutuhan sub-sistem reaktor:

1. Functional Objective

- Mereaksikan udara bebas menjadi *O3* dengan interval kadar 500~1000 ppm.
- Mereduksi aliran udara turbulen dari *input* udara menuju *output O3*.
- Mentransmisikan arus listrik sebagai medan reaksi *barrier discharge*.

2. Operation Function Requirements

- Reaktor mampu menangani tekanan *input* udara dengan batas maksimal 100 kPa.
- Reaktor mampu bekerja tanpa mengurangi tekanan udara *input* terhadap *output*.
- Reaktor mampu menangani *input* tegangan listrik dengan interval 1 kV > *Vreaktor* > 10 kV.

3. General Function Requirement

- a. Performa Reaktor dengan parameter:
 - Perbedaan tekanan udara input dengan *output*.
 - Efisiensi reaksi *barrier discharge*.
 - Keandalan komponen melakukan fungsi
 - Kekedapan Reaktor terhadap tekanan udara
- b. Compactness dengan parameter.
 - Dimensi Reaktor.
 - Berat Reaktor
- c. Kemudahan perakitan dengan parameter:
 - Jumlah komponen Reaktor
 - Tingkat kesulitan perakitan.
 - Mendukung kemudahan perbaikan maupun penggantian komponen

Dekomposisi Fisik dan Fungsi Reaktor

Produk didekomposisikan menjadi sub-sistem ataupun *sub-assembly* yang terseruktur hingga menjadi sebuah produk yang memiliki fungsi yang telah ditetapkan. Proses dekomposisi harus terus dilanjutkan hingga mencapai level komponen basis. Berikut

merupakan pendekomposisian fisik produk mesin desinfektan:

Tabel 1 : Dekomposisi Fisik Reaktor

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Body Assy	1
1.1	Base Conductor Assy	1
	Base	1
	Snell Copling	8
	Conductor	8
	Nepple	8
	StaticRod	1
1.2	Base non Conductor Assy	1
	Base	1
	Nepple	8
	SnellKopling	8
	StaticLock	2
2	Chamber Assy	8
	Tube	1
	SnellKopling2	2
	KoplingBridge	2
3	Air Divider Assy	2
	Divider Body	1
	Nepple Support	1
	Nepple	8

Tabel 2 : Dekomposisi Fungsi Reaktor

Melakukan Reaksi Barrier Discharge	Pengaliran Udara	Pengondisian Udara
		Penghantaran Udara
		Pembagian Udara
	Membangkitkan Medan Listrik	Konektor Listrik
		Penghantar Listit
	Menunjang Struktur	Penahan Bentuk
		Penguncian Struktur
		Tumpuan Struktur

Identifikasi System-Level Specification.

System-level specification merupakan hubungan satu-ke-satu antara komponen dengan karakteristik fungsional dan karakteristik fisiknya. Karakteristik fungsional merupakan hasil dari operasi dan transformasi yang dilakukan komponen untuk berkontribusi membentuk keseluruhan performa produk. Berikut merupakan SLS dari sub-sistem Reaktor:

Tabel 3 : System-Level Specification pada Reaktor

Barrier Discharge Reactor	Physical Characteristic	Arrangement	Coecentric
			Paralel
		Proximity	Direct Contact
			Separated
	Functional Characteristic	Structural	Support
			Load
		Current Transmission	Conduct
			Isolate
		Air Treatment	Manage
			Obstruct

Penjabaran atas 10 sub-spesifikasi diatas adalah sebagai berikut:

1. *Coecentric*: Merupakan penyusunan yang ditujukan pada geometri lingkaran, dimana penyusunan mengikuti titik tengah dari lingkaran, sehingga komponen yang memiliki geometri lingkaran memiliki satu sumbu yang sama.
2. *Parallel*: Merupakan penyusunan berderet antar komponen.
3. *Direct Contact*: Kedekatan antar komponen yang saling bersinggungan dan menyentuh.
4. *Separated*: Kedekatan antar komponen yang tidak saling bersinggungan secara langsung atau terpisah sama sekali.
5. *Support*: Merupakan fungsi yang ditujukan untuk mempertahankan serta membantu struktur agar tidak terjadi perubahan struktur.
6. *Load*: Merupakan beban terhadap struktur.
7. *Conduct*: Merupakan fungsi penghantar listrik.
8. *Isolate*: Merupakan pengisolasi hantaran listrik.
9. *Manage*: Merupakan fungsi pengaturan aliran udara pada Reaktor sehingga aliran dapat masuk dan keluar sepanjang sub-sistem reaktor.

10. *Obstruct*: Merupakan penghambat aliran udara yang mengalir sepanjang sub-sistem reaktor.

Dampak dari SLS terhadap General Function Requirement.

Spesifikasi sistem yang telah didefinisikan diatas akan memiliki pengaruh terhadap fungsi kebutuhan umum yang akan dilakukan oleh sub-sistem Reaktor. Hal ini merupakan sebuah *trade-off* yang tidak dapat dihindari, menimbang bahwa spesifikasi yang dimiliki komponen itu sendiri memiliki implikasi terhadap *general function requirement*. Dalam studi kasus ini, terdapat tiga GFR yang terdiri atas; *performance, compactness, dan easy to assemble* yang akan dipadankan dengan 10 sub-spesifikasi pada SLS. Berikut merupakan penjabaran 10 sub-spesifikasi dan pengaruhnya terhadap GFR:

Tabel 4: Pengaruh SLS terhadap GFR

System Level Specification		General Function Requirement		
		Performance	Compactness	Easy to Assemble
Arrangement	Coecentric	1	1	1
	Paralel	0	1	1
Proximity	Direct Contact	1	1	0
	Separated	-1	-1	1
Structural	Support	1	1	0
	Load	0	0	0
Current Transmission	Conduct	1	0	0
	Isolate	0	0	0
Air Treatment	Manage	1	0	0
	Obstruct	-1	0	0

Indeks Kesamaan Fungsi

Indeks kesamaan fungsi merupakan penggabungan fungsi antar komponen dan perhubungannya dengan komponen lainnya. Indeks ini mencakup penilaian terhadap dampak-dampak yang disebabkan oleh interaksi SLS dengan GFR pada komponen-komponen sub-sistem.

Dengan membentuk indeks kesamaan fungsi, kumpulan komponen yang membentuk sub-sistem dapat dikelompokkan dan membentuk modul-modul dengan mempertimbangkan hubungan fisik maupun fungsional komponen-komponen yang dimaksud, sehingga perancang dapat mempertimbangkan kelayakan suatu komponen berdasarkan dampaknya kepada komponen lain dalam sub-sistem. Hal ini memungkinkan perancang merancang ulang, mengatur ulang, maupun memperbandingkan sub-sistem dengan opsi-opsi perancangan lainnya.

Proses pembentukan tabel indeks kesamaan fungsi dimulai dengan mengelompokkan jenis-jenis hubungan fungsional dan fisik yang dimiliki komponen dengan komponen perhubungannya, sebagai contohnya, komponen Base dengan komponen Coupling Bridge memiliki hubungan: *coecentric*, *separated*, dan *support*, sehingga dapat disingkat menjadi C,S, dan SUP. Penotasian tersebut ditujukan untuk memudahkan pembacaan dan meringkas hubungan antar komponen serta membuat matriks penyatuan seluruh hubungan fungsional dan fisik antar komponen untuk mencari derajat kesamaan komponen yang pada akhirnya akan menciptakan hubungan modul-modul yang relevan sesuai hubungan fungsional dan fisik antar komponen. Indeks kesamaan fungsi dengan penotasian hubungan fungsional dan fisik komponen sub-sistem dilampirkan pada lampiran 1.

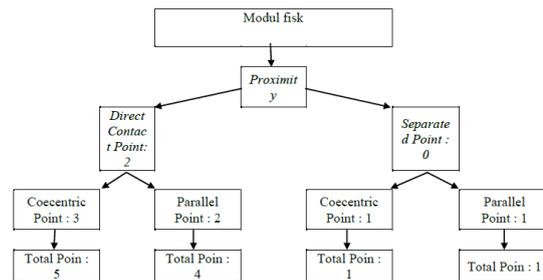
Kuantifikasi Hubungan Fungsional dan Fisik Komponen-Komponen Sub-Sistem

Dengan terbentuknya tabel hubungan indeks kesamaan fungsional dan fisik komponen (yang dilampirkan pada lampiran 1), penulis dapat mengkuantifikasi nilai indeks kesamaan tersebut dengan membuat tabel berdasarkan perpadanan antara SLS dengan GFR, tabel ini digunakan sebagai kuantifikasi komponen-komponen yang terdapat pada sub-sistem reaktor yang pada proses selanjutnya digunakan untuk membentuk kombinasi-kombinasi modul. berikut merupakan tabel kuantifikasi hubungan indeks kesamaan fungsi:

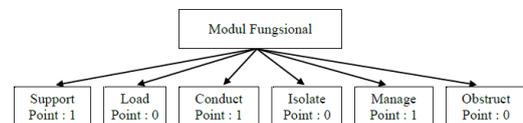
Tabel 5: Kuantifikasi Hubungan Fungsional dan Fisik Komponen.

Kuantifikasi Hubungan Indeks Kesamaan											
	Base	Coupling Base	Conductor	Nepple	Static Rod	Static Lock	Tube	Coupling Tube	Coupling Bridge	Divider Body	Nepple Support
Base	X	7	6	7	5	5	3	2	2	1	2
Coupling Base	7	X	6	2	1	1	6	6	6	1	1
Conductor	6	6	X	1	1	1	6	1	1	1	1
Nepple	7	2	1	X	1	1	2	2	1	2	6
Static Rod	5	1	1	1	X	6	1	1	1	1	1
Static Lock	5	1	1	1	6	X	1	1	1	1	1
Tube	3	6	6	2	1	1	X	6	1	1	2
Coupling Tube	2	6	1	2	1	1	6	X	6	1	1
Coupling Bridge	2	6	1	1	1	1	1	6	X	1	1
Divider Body	1	1	1	2	1	1	1	1	1	X	6
Nepple Support	2	1	1	6	1	1	2	1	1	6	X

Nilai perpadanan tersebut didapatkan dengan meninjau perhubungan fungsional dan fisik pada perbandingan SLS dan GFR, atribut fungsi komponen terbagi atas 2 tipe, yaitu; atribut fungsional dan atribut fisik, dimana terdapat pembatas pada atribut fisik, menimbang bahwa fungsi *arrangement* dipengaruhi terlebih dahulu oleh fungsi *proximity*. Atas dasar itu, penulis mengklasifikasikan penilaian sebagai berikut:



Gambar 1: Kuantifikasi Hubungan Fisik Komponen



Gambar 2: Kuantifikasi Hubungan Fungsional Komponen

Contoh pengkuantifikasiannya ialah sebagai berikut:

- Base-Coupling Base: Merujuk pada lampiran 1, didapatkan hubungan sebagai berikut; C, DC, SUP, I, M sehingga mendapatkan point sebesar; C = 3, DC = 2, SUP = 1, I = 0, dan M = 1 dengan total = 7.
- Nepple-Nepple Support: Meruju pada lampiran 1, didapatkan hubungan sebagai berikut; C, DC, L, M sehingga mendapatkan point sebesar; C = 3, DC = 2, L= 0, M = 1 dengan total = 6.

Pengelompokkan Grup Kesamaan Index

Pengelompokkan grup kesamaan index bertujuan untuk mengelompokkan nilai indeks antar komponen yang signifikan menjadi modul-modul yang memungkinkan. Pengelompokkan ini bertujuan menciptakan modul-modul dengan hubungan fisik dan fungsional yang tinggi antar komponen dalam modulnya, sehingga modul yang tercipta memiliki kesamaan fungsional dan fisik antar komponen. Hal ini menciptakan kemudahan pada proses perancangan untuk perakitan, meningkatkan integrasi dari metodologi dan teknologi kedalam aktivitas perancangan lainnya dan menyediakan pemetaan sub-sistem secara *feasible*.

Proses ini dimulai dengan melakukan penyusunan ulang matriks kuantifikasi indeks

kesamaan (tabel 5) hingga komponen membentuk sebuah kumpulan yang berisikan nilai index yang tinggi. Berikut merupakan hasil penyusunan ulang matriks kuantifikasi indeks kesamaan:

Tabel 6 : Penyusunan Indeks Kesamaan Komponen

Pengelompokan Hasil Kuantifikasi Hubungan Indeks											
	Static Rod	Static Lock	Base	Coupling Base	Conductor	Tube	Coupling Tube	Coupling Bridge	Nepple	Nepple Support	Divider Body
Static Rod	x	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1
Static Lock	6	x	5	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	5	5	x	7	6	3	2	2	7	2	1
Coupling Base	1	1	7	x	6	6	6	6	2	1	1
Conductor	1	1	6	6	x	6	1	1	1	2	1
Tube	1	1	3	6	6	x	6	1	2	2	1
Coupling Tube	1	1	2	6	1	6	x	6	2	1	1
Coupling Bridge	1	1	2	6	1	1	6	x	2	1	1
Nepple	1	1	7	2	1	2	2	2	x	6	2
Nepple Support	1	1	2	1	2	2	1	1	6	x	6
Divider Body	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	x

Dengan terbentuknya tabel penyusunan ulang indeks kesamaan komponen, proses selanjutnya ialah mengelompokkan komponen menjadi modul-modul yang memiliki hubungan dengan nilai indeks yang tinggi, hal ini bertujuan untuk membentuk modul yang memiliki karakteristik dan atribut fungsional maupun fisik yang berhubungan. Pengelompokkan modul dibagi menjadi 4 pengelompokkan, yaitu pengelompokkan 6 modul, 5 modul, 4 modul, dan 3 modul. Berikut merupakan hasil pengelompokkan terbaik yang didapatkan dari variasi modul tersebut:

Tabel 7: Penyusunan Modul dengan Pengelompokkan 3 Modul

Pengelompokan Hasil Kuantifikasi Hubungan Indeks Kesamaan Dengan Pembagian 3 Modul											
	Static Rod	Static Lock	Base	Coupling Base	Conductor	Tube	Coupling Tube	Coupling Bridge	Nepple	Nepple Support	Divider Body
Static Rod	x	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1
Static Lock	6	x	5	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	5	5	x	7	6	3	2	2	7	2	1
Coupling Base	1	1	7	x	6	6	6	6	2	1	1
Conductor	1	1	6	6	x	6	1	1	1	2	1
Tube	1	1	3	6	6	x	6	1	2	2	1
Coupling Tube	1	1	2	6	1	6	x	6	2	1	1
Coupling Bridge	1	1	2	6	1	1	6	x	2	1	1
Nepple	1	1	7	2	1	2	2	2	x	6	2
Nepple Support	1	1	2	1	2	2	1	1	6	x	6
Divider Body	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	x

Indeks tinggi non modul (merah) =

14

Indeks rendah modul (biru) =

18

• Analisis:

Dengan mengelompokkan komponen sub-sistem menjadi 3 modul, diperoleh konfigurasi modul sebagai berikut:

1. Modul 1 terdiri atas: Static Rod, Static Lock, Base
2. Modul 2 terdiri atas: Coupling Base, Conductor, dan Tube, Coupling Tube dan Coupling Bridge.
3. Modul 3 terdiri atas: Nepple, Nepple Support, Divider Body.

Merujuk pada tabel diatas, didapatkan nilai indeks tinggi non modul yang tidak terlindungi oleh pengelompokkan modul sebesar 14 dengan indeks rendah modul sebesar 18.

Variasi Modul 3 (Modul Terpilih)

Proses variasi modul merupakan sebuah langkah pembentukan modul-modul dengan jumlah sesuai dengan modul terpilih (modul 3) namun dengan pengelompokkan yang bervariasi. Tujuannya ialah untuk mencari *undesired* faktor terkecil (indeks rendah modul), dengan proses pembuatan variasi, diharapkan terdapat modul yang dapat meminimasi *undesired* faktor tersebut.

Berdasarkan hasil rekap variasi modul 3, terdapat 2 kriteria pemilihan, yaitu minimasi indeks tinggi non modul dan minimasi indeks rendah modul. Merujuk pada kriteria tersebut, maka terdapat 2 alternatif pemilihan modul variasi yang terbaik yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Kriteria minimasi indeks tinggi non modul (terpilih variasi 5) dengan penjabaran modul sebagai berikut:
 - Modul 1, terdiri atas: Static rod, Static lock, dan Base
 - Modul 2, terdiri atas: Coupling Base, Conductor, Tube, Coupling Tube, Coupling Bridge, dan Nepple
 - Modul 3, terdiri atas: Nepple support dan Divider body
2. Kriteria minimasi indeks rendah modul (terpilih variasi 2) dengan penjabaran modul sebagai berikut:
 - Modul 1, terdiri atas: Static rod, Static lock, Base, dan Coupling Base
 - Modul 2, terdiri atas: Conductor, Tube, Coupling Tube, dan Coupling Bridge
 - Modul 3, terdiri atas: Nepple, Nepple support dan Divider body

Berikut merupakan alternatif yang didapatkan dari proses variasi modul 3:

Tabel 8: Alternatif 1, Modul 3 Variasi 2

	Static Rod	Static Rod	Static Lock	Base	Coupling Base	Conductor	Tube	Coupling Tube	Coupling Bridge	Nepple	Nepple Support	Divider Body
Static Lock	x	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	6	x	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coupling Base	5	5	x	7	6	3	2	2	2	7	2	1
Conductor	1	1	7	x	6	6	6	6	6	2	1	1
Tube	1	1	6	6	x	6	1	1	1	1	2	1
Coupling Tube	1	1	3	6	6	x	6	6	1	2	2	1
Coupling Bridge	1	1	2	6	1	6	x	6	6	2	1	1
Nepple	1	1	2	6	1	1	6	x	6	2	1	1
Nepple Support	1	1	7	2	1	2	2	2	2	x	6	2
Divider Body	1	1	2	1	2	2	1	1	6	x	6	6
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	x	
	Indeks tinggi non modul (merah) =											14
	Indeks rendah modul (biru) =											16

Tabel 9: Alternatif 2, Modul 3 Variasi 5

	Static Rod	Static Rod	Static Lock	Base	Coupling Base	Conductor	Tube	Coupling Tube	Coupling Bridge	Nepple	Nepple Support	Divider Body
Static Rod	x	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Static Lock	6	x	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	5	5	x	7	6	3	2	2	2	7	2	1
Coupling Base	1	1	7	x	6	6	6	6	6	2	1	1
Conductor	1	1	6	6	x	6	1	1	1	1	2	1
Tube	1	1	3	6	6	x	6	1	2	2	2	1
Coupling Tube	1	1	2	6	1	6	x	6	2	1	1	1
Coupling Bridge	1	1	2	6	1	1	6	x	2	1	1	1
Nepple	1	1	7	2	1	2	2	2	2	x	6	2
Nepple Support	1	1	2	1	2	2	1	1	6	x	6	6
Divider Body	1	1	1	1	1	1	1	1	2	6	x	x
	Indeks tinggi non modul (merah) =											0
	Indeks rendah modul (biru) =											42

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis kebutuhan sub-sistem, didapatkan fungsi kebutuhan umum yang mencakup kebutuhan objektif, fungsi operasional maupun fungsi umum sub-sistem. Dalam penjabaran lebih lanjut, fungsi ini diklasifikasikan menjadi karakteristik fungsi dan karakteristik fisik yang akan diakomodasi oleh komponen sub-sistem. Dekomposisi karakteristik fungsi dan fisik ini kemudian diidentifikasi pada tiap-tiap part yang mengakomodasi kebutuhan tersebut.

Karakteristik tiap komponen akan dijumlahkan sesuai dengan total karakteristik fungsi dan fisik yang diakomodasi oleh komponen tersebut (tabel 6). Dengan menyusun ulang indeks kesamaan tersebut, maka didapatkan berbagai variasi yang akan membentuk suatu *chunk* yang akan dibandingkan nilai totalnya. Dari berbagai variasi dan modul yang disusun, penentuan pemilihan modul dan variasi dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria minimasi indeks tinggi non modul maupun minimasi indeks rendah modul. Dari kriteria pemilihan tersebut maka didapatkan bahwa modul 3 dengan variasi 2 akan memenuhi kriteria minimasi indeks rendah modul dan modul 3 dengan variasi 5 akan memenuhi kriteria minimasi indeks tinggi non modul.

Dengan terpilihnya 2 alternatif tersebut, diharapkan perancang dan pengembang produk dapat menjadikan pertimbangan untuk pengembangan selanjutnya. Hasil pengelompokan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

- Modul 3, variasi 2 *part list*:
 - Modul 1: *Static rod, Static lock, Base, dan Coupling base*
 - Modul 2: *Conductor, Tube, Coupling tube dan Coupling bridge*
 - Modul 3: *Nepple, Nepple support, dan Divider body*
- Modul 3, variasi 5:
 - Modul 1: *Static rod, Static lock, dan Base*
 - Modul 2: *Coupling base, Conductor, Tube, Coupling tube, Coupling bridge, dan Nepple*
 - Modul 3: *Nepple support dan Divider body*

DAFTAR PUSTAKA

Akiyama, K. (1991). *Function analysis: systematic improvement of quality and performance*. Productivity Press.

Chandrasekaran, B., Goel, A. K., & Iwasaki, Y. (1993). Functional representation as design rationale. *Computer*, 26(1), 48-56.

Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI magazine*, 11(4), 26.

Kamrani, A. K., & Sa'ed, M. S. (2002). *Product design for modularity*. Springer Science & Business Media.

DAFTAR PUSTAKA

1. Brauser, Roger L, (1995), *Safety and Health for Engineers*, USA, Van Nostrand Reinhold.
2. Callister, William D., (1940), *Materials Science and Engineering*, USA, John Willey & Sons, Inc.
3. Cohen, Lou., (1995), *Quality Function Deployment : How to Make QFD Work for You*, USA, Addison-Wesley.
4. CoVan, James., (1995), *Safety Engineering*, USA, John Willey and Sons Inc.
5. Cross, Nigel. (1989), *Engineering Design Methods : Strategies for Product Design*. England : John Willey and Sons Ltd.
6. Crow, Kenneth. (2002), *Customer-Focused Development With QFD*. DRM Associate.
7. Daetz, Doug, Bill Barnard & Rick Norman., (1995), *Customer Integration : The Quality Function Deployment (QFD) Leader's Guide for Decision Making*. USA : John Willey and Sons Inc.
8. Dervitsiotis, Kostas. N., (1981), *Operations Management*. USA : McGraw-Hill.
9. *Facilities Location and Layout Help.*, (1992), Department of System Engineering US Military Academy.
10. Griffin, Abbie and John R. Hauser. (1993). *The Voice of the Customer*. Marketing Science. Vol. 12, No. 1. pp. 1-27
11. Nasution, Armand Hakim., (2005), *Manajemen Industri*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
12. Nofiana, Anita. (2004), *Standard Operating Procedure Kegiatan Perencanaan Dan Pengembangan Produk Yang Menggunakan Metode QFD (Studi Kasus di PT. Mega Andalan Kalasan, Yogyakarta)*. Semarang : Teknik Industri UNDIP.
13. Otto, Kevin and Kristin Wood., (2001), *Product Design : Techniques and Reserve Engineering and New Product Development*. USA : Prentice Hall.
14. Sugiyono., (2006), *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
15. Sukandarrumidi., (2002), *Metodologi Penelitian*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
16. Ulrich, Karl T. and Steven D. Eppinger., (2001), *Perancangan dan Pengembangan Produk*. Jakarta: Salemba Teknik.
17. Veronica, Sinta., (2005). *Pengembangan Alat Permainan Papan Pasak Bagi Siswa Taman Kanak-Kanak dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment*. Semarang: Teknik Industri Undip
18. Wignjosoebroto, Sritomo., (1996), *Tata Letak Pabrik dan Pindahan Bahan*. Surabaya: Penerbit Guna Widya. 1996.
19. www.creativeozone.com
20. www.ozoneapplication.com

LAMPIRAN

