

Proses Perancangan Sistem Mekanik dengan Pendekatan Terintegrasi: Studi Kasus Perancangan Alat Uji *Pin On Disc*

Dedet Nursyahuddin^{1*)}, Dedison Gasni¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang

Email: dedetn@gmail.com^{*)}

Abstrak

Merancang sebuah produk merupakan kegiatan yang bersifat iterative dengan menggabungkan ilmu pengetahuan, seni dan kreatifitas yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, dimana solusi yang dihasilkan tidak bersifat unik. Beberapa dekade yang lalu keahlian merancang tidak dapat diajarkan secara formal tetapi harus dilakukan dengan cara proses magang dengan seorang perancang yang sudah berpengalaman, karena cara merancang sebuah produk belumlah menjadi sebuah ilmu pengetahuan yang dapat diajarkan. Tetapi pada saat ini telah banyak dijumpai buku-buku yang memberikan teknik-teknik dalam proses perancangan produk, beberapa teknik untuk merancang sebuah produk diantaranya: Ibrahim Zeid, French, Pahl dan Beitz, VDI (Verein Deutcher Ingenieure), dan Ulman. Pada tulisan ini akan dibahas proses perancangan mekanik dengan pendekatan yang terintegrasi yang dapat diajarkan kepada mahasiswa S1 Jurusan Teknik Mesin dalam waktu 1 semester. Untuk menjelaskan proses perancangan yang terintegrasi tersebut, sebagai studi kasus diambil perancangan alat uji pin on disc.

Kata kunci: perancangan produk, proses perancangan, pin on disc.

Abstract

Designing a product is an activity that is iterative by combining science, art and creativity to suit the desired need, where the resulting solutions are not unique. A few decades ago designing skills can not be taught formally, but must be done by the intern with a designer who is experienced. As a way to design a product has not yet become a science that can be taught. Nowadays, there have found many books that give techniques in the product design process, several techniques for designing a product such as: Ibrahim Zeid, French, Pahl and Beitz, VDI (*Verein Deutcher Ingenieure*), and Ulman methods. In this paper, we will discuss the mechanical design process with an integrated approach that can be taught to undergraduate students in Mechanical Engineering Department within 1 semester. To explain the integrated design process, the design is taken as a case study: Pin on disc machines.

Keywords: product design, design process, pins on disc.

1. Pendahuluan

Perancangan merupakan sebuah langkah awal dalam merealisasikan suatu produk yang dibutuhkan untuk mempermudah pekerjaan atau kegiatan manusia. Pada awalnya untuk menguasai cara merancang dilakukan dengan proses magang dengan mempelajari, mengamati, dan mengikuti langkah-langkah yang dilakukan oleh seorang perancang yang telah memiliki banyak pengalaman dalam proses merancang suatu produk. Saat ini, terdapat berbagai macam metode perancangan yang bisa digunakan untuk merancang suatu mesin. Metode French, Pahl dan Beitz, Ullman, VDI (*Verein Deutcher Ingenieure*), dan Metode Ibrahim Zeid.

Dalam perkembangannya, proses merancang suatu produk telah dirumuskan kedalam beberapa tahap atau beberapa fase yang disebut dengan proses perancangan produk secara umum. Pada hakekatnya, proses perancangan suatu produk dengan produk lainnya tidak akan memiliki fase yang persis sama. Namun, dalam setiap merancang suatu produk dapat dirumuskan kedalam beberapa bentuk fase perancangan yang secara umum dapat diterapkan kedalam berbagai bentuk perancangan produk. Proses perancangan secara umum ini dapat dibuat dan dikembangkan sehingga dapat menghasilkan proses perancangan sebuah produk.

Pada tulisan ini, akan dilakukan proses perancangan sebuah sistem mekanik, sebagai studi kasus digunakan perancangan alat uji *pin on disc*. Mesin ini berfungsi untuk menentukan besarnya koefisien gesek dan keausan yang terjadi akibat gesekan antar dua material yang berkontak yang bergerak secara relatif dengan mekanisme *pin on disc*. Alat uji *pin on disc* dirancang dengan cara menggabungkan beberapa metode perancangan yang telah ada dengan pendekatan secara terintegrasi sehingga didapatkan hasil perancangan alat uji *pin on disc* sesuai dengan kebutuhan dan performa yang diinginkan.

2. Kajian Pustaka

2.1 Pendahuluan

Menurut George Eggert Dieter (2000), perancangan adalah kumpulan keputusan yang dibuat dalam menentukan proses yang digunakan untuk menentukan bentuk objek dari kebutuhan yang diinginkan oleh *costumer* [1]. Secara umum perancangan dapat diartikan sebagai kegiatan awal dari usaha merealisasikan suatu produk yang keberadaannya dibutuhkan oleh seseorang atau suatu kelompok untuk memudahkan kegiatan yang dilakukannya.

Perancangan merupakan suatu proses perencanaan yang harus dilakukan dengan tepat dan berurutan. Kegiatan dalam proses perancangan dinamakan fase. Fase-fase dalam proses perancangan berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Setiap fase tersebut juga terdiri dari beberapa kegiatan yang dinamakan langkah-langkah dalam fase. Salah satu deskripsi proses perancangan adalah deskripsi yang terdiri dari fase-fase berikut [2], yaitu:

1. Identifikasi Kebutuhan.
2. Definisi, Perencanaan, dan Penyusunan Spesifikasi Teknik Produk.
3. Perancangan Konsep Produk.
4. Perancangan Produk.
5. Dokumen Pembuatan Produk.

2.2 Identifikasi Kebutuhan

Perancangan dimulai dengan menentukan dan mendefinisikan permasalahan atau kebutuhan yang diperlukan. Dalam hal ini menjadikan identifikasi kebutuhan atau permasalahan merupakan proses penting dalam proses perancangan teknik. Mengerti terhadap permasalahan atau kebutuhan merupakan suatu modal penting dalam perancangan untuk menentukan langkah selanjutnya yang akan diambil karena identifikasi kebutuhan merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam perancangan teknik. Untuk mempermudah dalam pengidentifikasi kebutuhan atau masalah bisa dilakukan dengan bantuan beberapa metode analisis berikut:

1. *Gathering Information from costumer*
2. OTM (*Objective Three Methods*)
3. QFD (*Quality Function Deployment*)

2.3 Definisi, Perencanaan, dan Penyusunan Spesifikasi Teknik Produk

Defenisi, perencanaan, dan penyusunan spesifikasi teknik produk terintegrasi bersama dengan kebutuhan terhadap suatu produk yang telah diidentifikasi kebutuhannya. Fase ini merupakan fase penerjemahan kebutuhan yang diajukan oleh *customer* kedalam bahasa teknik atau disebut dengan spesifikasi teknis produk.

2.4 Perancangan Konsep Produk

Perancangan konsep produk merupakan tahapan atau fase yang digunakan untuk menemukan sebanyak mungkin alternatif konsep produk. Konsep produk yang disusun harus memenuhi setiap kebutuhan atau spesifikasi teknis yang telah ditentukan. Dalam perancangan konsep produk bisa dilakukan dengan bantuan menggunakan blok fungsi dan matrik morfologi.

Blok fungsi merupakan suatu diagram yang mewakili struktur fungsi secara keseluruhan dari suatu produk. Blok fungsi terdiri dari masukan dan keluaran dari suatu produk secara umum berupa energi (gaya), material, dan informasi (sinyal). Bentuk dari blok fungsi dapat dilihat dari pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok fungsi.

Dalam prakteknya, blok fungsi kemudian dipecah menjadi beberapa sub fungsi dan sub sub fungsi yang lebih *detail*. Setiap sub fungsi dan sub-sub fungsi nantinya dicarikan beberapa solusi yang mungkin untuk direalisasikan sehingga membentuk beberapa alternatif konsep produk.

Matrik morfologi dapat digunakan untuk mempermudah menemukan alternatif-alternatif konsep produk. Matrik morfologi menggunakan struktur fungsi yang telah dijabarkan pada sub blok fungsi pada metode sebelumnya. Matrik morfologi berisikan beberapa alternatif solusi untuk setiap kondisi sub fungsi yang ada. Pengembangan konsep atau solusi dari setiap sub blok fungsi bisa didapatkan dari berbagai literatur yang telah ada, referensi-referensi dari internet, buku, atau ide yang didapatkan dari perancang. Semakin banyak konsep atau solusi dari setiap sub blok fungsi maka akan semakin banyak kemungkinan konsep alat uji yang bisa dibuat dan semakin baik konsep alat uji yang bisa didapatkan. Dengan menggunakan matrik morfologi, maka dapat dibentuk beberapa alternatif konsep produk yang mungkin untuk dikembangkan.

2.5 Penentuan Keputusan

Hal penting lainnya dalam proses perancangan teknik adalah penentuan keputusan atau pengambilan keputusan dari dua atau lebih rancangan yang dibuat. Pengambilan keputusan agar meliputi segala aspek dari tujuan yang dilakukan harus menggunakan suatu metode pengambilan keputusan yang biasa disebut dengan matrik keputusan.

Beberapa metode dalam pengambilan keputusan antara lain :

1. WOM (*Weight Objective Method*)
2. PCSM (*Pugh Concept Selection Method*)
3. *Engineering Design Selection* (Matrik Keputusan)

Penentuan keputusan sangat banyak dilakukan dalam melakukan perancangan teknik. Salah satu keputusan terpenting pada perancangan teknik adalah pengambilan keputusan untuk memilih konsep produk yang akan dikembangkan dari beberap alternatif konsep produk yang telah dibuat.

2.6 Dokumen Pembuatan Produk

Dokumentasi produk merupakan langkah akhir dari proses perancangan sebelum pembuatan produk dilakukan. Dokumen produk memuat berbagai informasi yang dibutuhkan untuk pembuatan produk. Pada akhir proses perancangan ini terdapat beberapa dokumen, yaitu :

1. Gambar *layout*
2. Gambar susunan komponen (*assembly*)
3. Gambar detail elemen/komponen produk
4. Daftar material (*bill of materials*)

Dokumentasi-dokumentasi produk inilah yang akan menjadi referensi dan sumber utama dalam pembuatan produk. Berhasil atau tidaknya suatu produk sangat bergantung pada informasi dan tingkat ketelitian gambar yang diberikan pada dokumentasi produk. Dokumentasi produk merupakan akhir dari proses perancangan.

2.7 Metode-Metode Perancangan

Berikut ini dijelaskan beberapa metode perancangan yang ada:

1. Metode Ibrahim Zeid

Metode Ibrahim Zeid ini dikenal luas dari karangan buku *Ibrahim Zeid*. Metode ini merupakan pengembangan bertahun-tahun yang mulai dari tahun 50-an. Metode Zeid ini meliputi proses perancangan, proses pembuatan, dan juga terdapat *feedback* dari pemasaran yang digunakan untuk pengembangan produk.

2. Metode French

Metode French hampir sama dengan metode-metode lainnya. Metode French dimulai dengan menentukan kebutuhan dan diakhiri dengan gambar rancangan dan keterangan lainnya.

3. Metode VDI (*Verein Deutcher Ingenieure*)

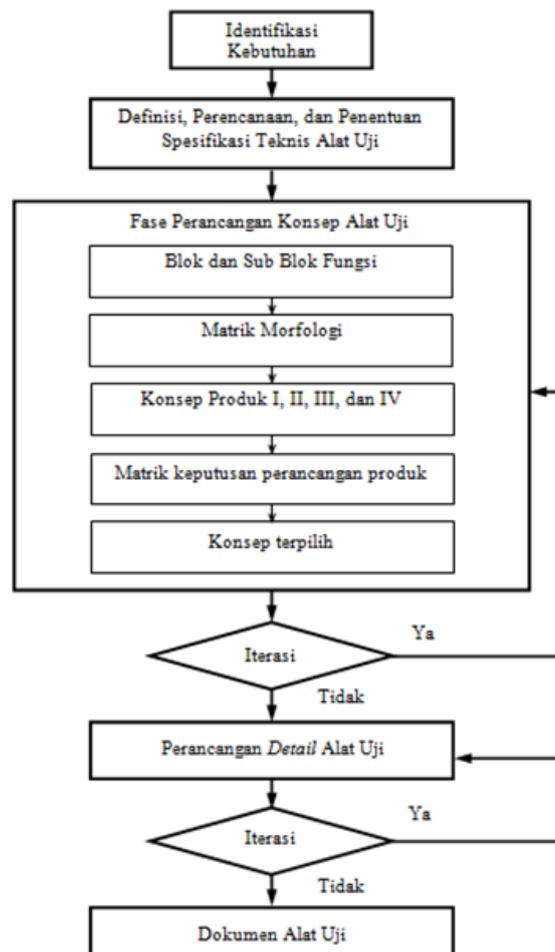
Merupakan suatu metode perancangan dari Persatuan Insinyur Jerman. Metode VDI ini dikembangkan dari pengalaman-pengalaman insinyur-insinyur Jerman yang dibuat dalam bentuk diagram yang sistematis.

4. Metode Pahl dan Beitz

Metode Pahl dan Beitz menggabungkan pengalaman mereka di dunia industri alat berat selama 20 tahun, pengalaman menulis buku (*Engineering Design*, 1976), dan mengambil pengalaman-pengalaman Insinyur Jerman. Metode Pahl dan Beitz lebih sistematis pada bagian perencanaan dan desain konsep.

3. Metodologi

Dalam proses perancangan alat uji *pin on disc* dilakukan dengan cara mengkombinasikan model proses perancangan yang ada yang disusun dalam beberapa fase atau tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil rancangan yang terbaik. Skematik dari fase perancangan dan langkah-langkah perancangan alat uji yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar.2.



Gambar.2 Fase Perancangan Mesin *Pin on Disc*.

3.1 Identifikasi Kebutuhan

Fase pertama dari perancangan alat uji ini adalah fase identifikasi kebutuhan. Identifikasi kebutuhan, diperlukan untuk mengkaji dasar dari suatu produk dibuat. Suatu produk baru ataupun modifikasi dari produk yang telah ada perlu dilakukan jika terdapat kebutuhan baru yang harus dipenuhi oleh seseorang ataupun oleh suatu kelompok. Jika kebutuhan yang diinginkan telah dapat dimengerti dengan baik, barulah suatu produk dirancang dengan menggunakan fase-fase atau tahapan yang dapat digunakan agar dihasilkan suatu produk yang memenuhi kebutuhan tersebut.

Kebutuhan dari alat uji yang dirancang berasal dari kebutuhan untuk penggunaan alat uji dalam skala laboratorium. Rancangan yang dibuat berdasarkan kebutuhan pengujian dalam skala laboratorium dan ide-ide serta masukan yang didapat oleh perancang. Hasil rancangan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam skala laboratorium, yaitu untuk mengetahui besarnya keausan dan koefisien gesek yang terjadi antara dua material yang kontak. Besarnya keausan dan koefisien gesek dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jenis material yang bergesekan, pembebanan, kecepatan putaran, dan memungkinkan penggunaan pelumas dalam pengujian.

3.2 Definisi, Perencanaan, dan Penentuan Spesifikasi Teknis Konsep Alat Uji

Fase kedua merupakan fase untuk pendefinisian, perencanaan, dan penentuan spesifikasi teknis konsep alat uji. Definisi dan perencanaan perancangan alat uji berdasarkan kebutuhan terhadap alat uji yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Untuk mendapatkan spesifikasi teknis dari alat uji yang akan dirancang, ada beberapa metode pendekatan yang dilakukan diantaranya metode *quality function deployment* (QFD). Tetapi pada tulisan ini, untuk mendapatkan spesifikasi teknis dilakukan lewat wawancara berdasarkan kebutuhan dari pengguna atau *expert* yaitu Laboratorium Konstruksi dan Perancangan Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas. Spesifikasi teknis dari perencanaan alat uji yang dirancang harus dapat menerima beban hingga 100 N, kecepatan putaran *disc* dapat divariasikan, mudah dioperasikan, ukuran alat uji yang diharapkan tidak terlalu besar, tahan korosi, dan memiliki umur yang panjang, dan memungkinkan penggunaan pelumas saat pengujian.

3.3 Perancangan Konsep Alat Uji

Konsep alat uji dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan kemungkinan. Konsep yang dibuat berasal dari kebutuhan dan beberapa kriteria utama yang ditentukan oleh perancang. Kebutuhan dan kriteria-kriteria tersebut akan menjadi dasar pembentukan awal konsep alat uji. Agar mendapatkan konsep alat uji yang baik, konsep alat uji dibuat lebih dari satu dan dilakukan perbandingan antar konsep untuk mendapatkan konsep yang lebih menguntungkan dan memenuhi kriteria yang ditentukan.

Konsep alat uji dapat dibuat dengan beberapa tahap berikut agar menghasilkan konsep alat uji yang tepat pada sasaran dalam memenuhi kebutuhan. Tahapan-tahapan dari konsep alat uji terdiri dari:

1. Blok fungsi dan sub blok fungsi

Blok fungsi bertujuan untuk menyusun fungsi alat uji secara umum. Blok fungsi dipecah menjadi sub fungsi dan sub sub fungsi, semakin jelas dan banyak sub fungsi dan sub sub fungsi yang diuraikan mengindikasikan perancang paham terhadap alat uji yang dirancang.

2. Matrik morfologi

Matrik morfologi digunakan untuk memberikan solusi dari sub fungsi dan sub sub fungsi yang telah didapatkan. Dari matrik morfologi dapat dibentuk beberapa konsep alat uji berdasarkan kemungkinan-kemungkinan yang ada agar alat uji tersebut dapat dibuat sehingga terbentuk beberapa alternatif konsep alat uji untuk dikembangkan.

3. Pengembangan konsep alat uji

Konsep-konsep alat uji yang telah dipilih dikembangkan dan direalisasikan kedalam bentuk sketsa dan memberikan deskripsi konsep secara jelas. Konsep alat uji tersebut dibuat dalam bentuk sketsa agar dapat dianalisis secara lebih dalam dari segi ukuran, dimensi, dan pengoperasian alat uji.

4. Matrik keputusan

Matrik keputusan digunakan untuk memilih konsep terbaik yang akan dirancang ketahap selanjutnya. Setiap alternatif konsep alat uji akan diberikan nilai/poin berdasarkan kriteria yang dimilikinya. Kriteria ditentukan terlebih dahulu dengan memberikan bobot berdasarkan kriteria yang diutamakan.

5. Konsep alat uji terpilih

Konsep alat uji terpilih adalah konsep alat uji yang memiliki total nilai/poin tertinggi berdasarkan matrik keputusan yang telah dibuat. Konsep terpilih selanjutnya dikembangkan pada fase perencanaan *detail* alat uji.

Dari tahap-tahap yang digunakan di atas, maka akan didapatkan beberapa alternatif konsep alat uji, semakin banyak alternatif konsep alat uji yang dibuat, maka semakin baik alat uji yang akan didapatkan. Konsep alat uji terpilih merupakan konsep uji yang akan dikembangkan ke fase perancangan *detail* alat uji.

3.5 Perancangan Detail Alat Uji

Konsep alat uji yang telah terpilih pada fase sebelumnya dikembangkan secara *detail* pada fase ini. Konsep alat uji tersebut dirancang secara *detail* dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti material yang tersedia dipasar, mudah pengoperasian, bentuk serta ukuran yang memenuhi estetika dan kemungkinan untuk dapat dibuat di Laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin. Konsep alat uji dipecah menjadi beberapa komponen untuk mempermudah proses perancangan. Setiap komponen memiliki fungsi dan bentuk yang berbeda. Pada akhir proses perancangan akan dilakukan penggabungan (*assembly*) komponen-komponen tersebut menjadi alat uji yang utuh.

3.6 Dokumen Alat Uji

Fase terakhir adalah fase dokumentasi hasil perancangan alat uji. Dokumentasi merupakan hasil akhir dari perancangan yang dibuat dalam bentuk gambar dua dan tiga dimensi. Gambar tersebut merupakan hasil akhir dari perancangan yang memuat semua informasi perancangan alat uji secara detail.

Dokumentasi alat uji terdiri dari gambar layout alat uji, gambar assembly alat uji, gambar detail komponen-komponen alat uji, dan daftar material yang digunakan untuk membentuk alat uji. Hasil dari dokumentasi ini siap untuk dilakukan keproses berikutnya yaitu proses produksi (pembuatan alat uji).

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Perancangan Konsep Alat Uji

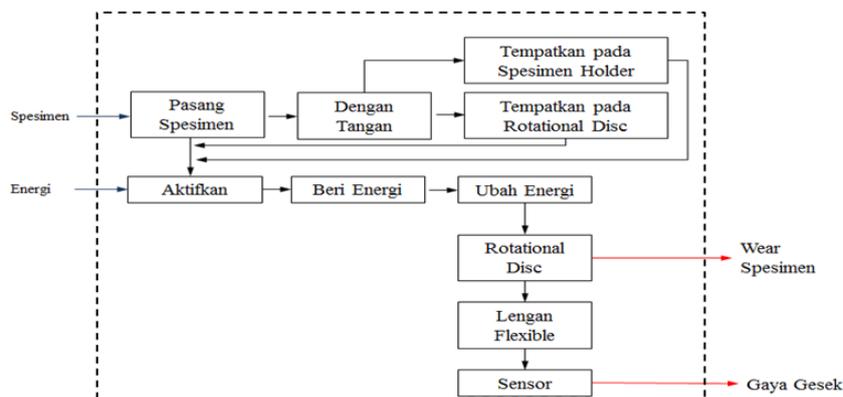
4.1.1 Blok Fungsi dan Sub Blok Fungsi

Konsep alat uji dapat dibuat apabila fungsi dan prinsip kerja dasar dari alat uji telah didefinisikan dengan tepat. Blok fungsi dapat digunakan untuk mempermudah pendefinisian dalam pembentukan konsep alat uji yang akan dibuat. Blok fungsi merupakan suatu blok yang mendefinisikan masukan dan keluaran dari suatu produk. Blok fungsi untuk alat uji *pin on disc* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Blok fungsi alat uji *pin on disc*.

Untuk pembentukan konsep alat uji, blok fungsi dipecah menjadi beberapa sub fungsi dan sub-sub fungsi yang akan diberi masukan yang akan diproses oleh alat uji dan menghasilkan keluaran yang sama dengan blok fungsi pada Gambar 4.1. Sub blok fungsi ini akan menjadi dasar utama pengembangan konsep alat uji. Sub blok fungsi dari alat uji yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 4.



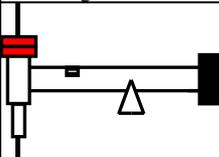
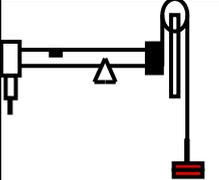
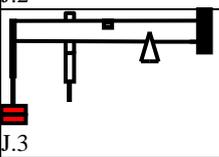
Gambar 4 Sub blok fungsi alat uji koefisien gesek jenis *pin on disc*

Pada Gambar 4 dapat dilihat sub blok fungsi yang berasal dari pengembangan blok fungsi sebelumnya. Sub blok fungsi berfungsi sebagai dasar pengembangan konsep alat uji. Selanjutnya, setiap sub blok fungsi dikembangkan oleh beberapa konsep atau beberapa solusi untuk menyelesaikan setiap permasalahan atau solusi yang dituntut dari setiap sub fungsi.

4.1.2 Matrik Morfologi

Dalam pengembangan konsep alat uji dari masing-masing solusi sub blok fungsi dibentuk suatu matrik morfologi yang mewakili setiap konsep atau solusi yang telah dirumuskan. Matrik morfologi dari alat uji *pin on disc* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Matrik Morfologi

Pasang Dengan Tangan (1)				
Pasang dengan tangan 1.1	Pegang 1.1.1	Satu tangan A.1 Dua Tangan A.2		
Tempatkan pada <i>rotational disc</i> 1.2	Orientasikan 1.2.1	Cekam B.1		
		Baut B.2		
		Snap fit B.3		
		Alur B.4		
Tempatkan pada spesimen holder 1.3	Orientasikan 1.3.1	Cekam C.1		
		Baut C.2		
		Alur C.3		
Aktifkan (2)				
Beri Energi 2.1	Sambungkan 2.1.1	Connector Plug D.1		
		Sabuk D.2		
		Roda gigi D.3		
		Kabel D.4		
	Aktifkan 2.1.2	Saklar E.1 Remote E.2		
Ubah Energi 2.2	Listrik 2.2.1	Motor DC F.1 Motor AC F.2		
	Mekanik (Transmisi) 2.2.2	Roda Gigi Lurus G.1		
		Roda Gigi Miring G.2		
		Rantai G.3		
		Sabuk G.4		
		Motor <i>Speed Control</i> G.5		
<i>Rotational Disc</i>	<i>Disc</i>	Langsung H.1 Tidak Langsung H.2		
		Bentuk Spesimen	Disc I.1 Plat <i>Disc</i> I.2 Plat Ring I.3	
	Lengan Flexible		Bentuk Lengan	 J.1
				 J.2
		 J.3		
Sensor	Jenis Sensor	<i>Load Cell</i> K.1 <i>Strain gauge</i> K.2		

Dari Tabel 1 di atas, maka dipilih beberapa konsep alat uji yang mungkin dikembangkan sesuai dengan kriteria yang akan ditentukan. Alternatif konsep alat uji yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Alternatif konsep alat uji yang akan dikembangkan.

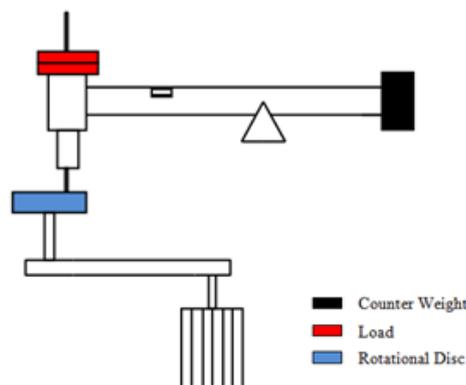
Konsep 1	A.2 + B.4 + C.2 + D.4 + E.1 + F.2 + G.4 + H.2 + I.2 + J.1 + K.2
Konsep 2	A.2 + B.3 + C.1 + D.4 + E.1 + F.2 + G.1 + H.2 + I.3 + J.2 + K.2
Konsep 3	A.2 + B.2 + C.2 + D.4 + E.1 + F.2 + G.4 + H.2 + I.1 + J.3 + K.2
Konsep 4	A.2 + B.2 + C.2 + D.4 + E.1 + F.1 + G.5 + H.2 + I.1 + J.1 + K.2

4.1.3 Pengembangan Alternatif Konsep Alat Uji

Konsep-konsep alat uji yang telah didapatkan dari matrik morfologi selanjutnya dikembangkan kedalam bentuk sketsa. Sketsa dibuat untuk mewakili dan mendekati bentuk kombinasi konsep alat uji yang telah dipilih. Diharapkan sketsa tersebut dapat menjadi bahan referensi dan pertimbangan untuk pemilihan konsep alat uji yang akan dirancang ketahap selanjutnya.

Pengembangan Konsep pertama

Sketsa konsep alat uji yang pertama dapat dilihat pada Gambar 5.

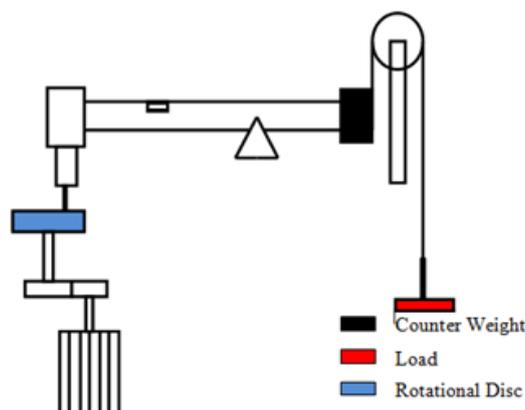


Gambar 5 Sketsa konsep alat uji pertama.

Alat uji yang dirancang pada konsep ini menggunakan daya putaran yang berasal dari motor AC. Daya dari motor AC ditransmisikan ke poros *rotational disc* dengan menggunakan puli dan sabuk. Untuk memvariasikan kecepatan pada konsep pertama ini, maka ukuran puli pada poros harus divariasikan agar kecepatan dapat divariasikan, sehingga ada beberapa ukuran puli pada poros untuk memberikan variasi kecepatan pada *rotational disc*. Lengan pada konsep ini berbentuk sederhana dengan pemberian pembebanan secara langsung pada bagian atas lengan secara vertikal dari *rotational disc*.

Pengembangan Konsep Kedua

Konsep alat uji kedua dikembangkan sesuai sketsa seperti Gambar 6 berikut.

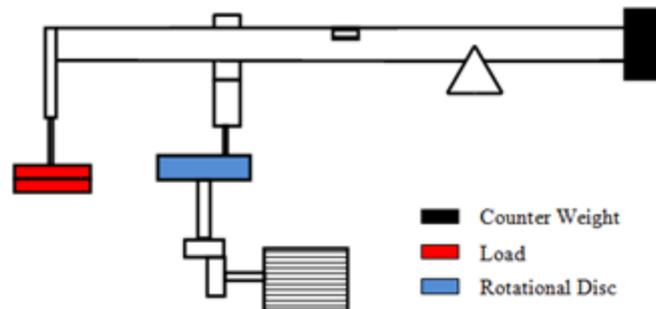


Gambar 6 Sketsa konsep alat uji kedua.

Konsep alat uji kedua menggunakan sumber penggerak motor AC yang ditransmisikan ke poros menggunakan roda gigi lurus. Roda gigi pada poros dibuat dalam beberapa ukuran untuk memberikan variasi kecepatan pada rotasional *disc*. Pembebanan diberikan pada bagian belakang lengan dengan menggunakan sistem katrol.

Pengembangan Konsep Ketiga

Sketsa pengembangan konsep ketiga dapat dilihat pada Gambar 7.

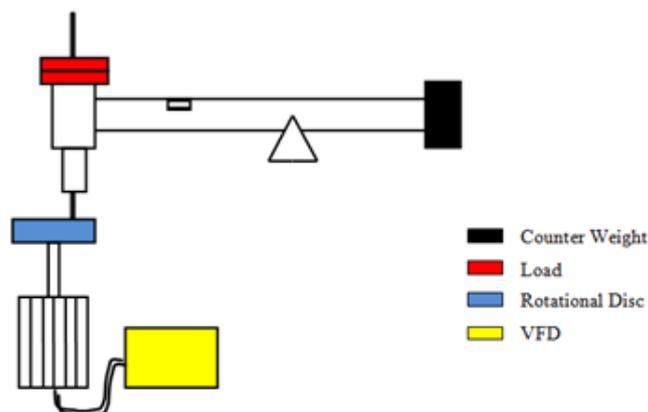


Gambar 7. Sketsa konsep alat uji ketiga.

Pada konsep alat uji ketiga posisi motor AC diletakkan secara horizontal. Transmisi menggunakan roda gigi miring, sehingga memerlukan beberapa ukuran roda gigi miring pada bagian poros agar kecepatan rotasional *disc* dapat divariasikan. Lengan dibuat dalam bentuk yang lebih panjang ke arah depan, pada bagian depan lengan merupakan tempat pemberian beban.

Pengembangan Konsep Keempat

Sketsa untuk konsep keempat dapat dilihat pada Gambar 8. Konsep alat uji keempat menggunakan motor AC sebagai sumber penggerak rotasional *disc*. Motor AC langsung dihubungkan ke poros rotasional *disc*, sehingga poros merupakan satu-satunya komponen yang meneruskan energi mekanik dari motor AC. Variasi kecepatan didapatkan dengan menggunakan VFD (*Variable Frequency Drive*), sehingga variasi kecepatan bisa dilakukan dengan mudah tanpa melakukan proses penggantian ukuran pulley atau roda gigi pada poros. Lengan pada konsep alat uji keempat juga berbentuk sederhana dengan pembebanan langsung secara vertikal di atas rotasional *disc*.



Gambar 8 Sketsa konsep alat uji keempat.

4.1.4 Evaluasi Konsep Alat Uji dengan Matrik Keputusan

Tahap selanjutnya adalah evaluasi konsep alat uji dengan menggunakan matrik keputusan. Metode ini cocok untuk mengevaluasi konsep alat uji yang belum dapat dibandingkan dengan persyaratan teknis atau performa secara langsung karena keempat konsep alat uji masih berada dalam tingkat abstraksi yang berbeda. Pada tahap evaluasi konsep alat uji ini, setiap konsep alat uji dibandingkan dengan menggunakan kriteria-kriteria yang akan ditentukan. Setiap konsep alat uji diberikan skor berdasarkan kriteria yang dimiliki oleh konsep tersebut dan skor masing-masing konsep dijumlahkan sehingga didapatkan salah satu konsep terbaik yang memiliki jumlah skor tertinggi.

Dari keempat konsep alat uji yang telah dikombinasikan, maka harus dipilih salah satu konsep alat uji yang akan dikembangkan ketahap perancangan alat uji. Untuk memilih konsep alat uji terbaik maka dilakukan evaluasi dengan metode matrik keputusan. Setiap alternatif konsep alat uji diberikan nilai. Nilai yang diberikan berkisar dari nilai terendah 1 hingga nilai tertinggi 10. Setiap kriteria juga diberikan penilaian dengan menggunakan bobot, dimana kriteria yang dianggap lebih penting atau yang diutamakan akan diberikan bobot yang lebih besar dibandingkan kriteria yang dianggap biasa saja atau tidak diutamakan. Total bobot untuk seluruh kriteria berjumlah 100.

Kriteria-kriteria ditentukan langsung oleh perancang dengan memperhatikan kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi pada proses pembuatan alat uji dan komponen-komponen serta kemungkinan kemudahan dalam pengoperasian alat uji nantinya. Kriteria tersebut mewakili keinginan hasil rancangan alat uji sesuai tujuan dan latar belakang dibutuhkannya alat uji tersebut. Kriteria tersebut berfungsi sebagai faktor pemberat yang akan mengevaluasi dan memberikan skor terhadap setiap alternatif konsep alat uji. Kriteria-kriteria yang ditetapkan untuk alat uji ini adalah sebagai berikut :

1. Kuat dan tahan lama, diharapkan alat uji memiliki umur yang panjang (tak hingga) sehingga akan meminimalisir biaya perbaikan.
2. Komponen tidak banyak, alat uji memiliki komponen yang tidak terlalu banyak agar mudah dalam proses perakitan, perawatan, dan perbaikan.
3. Mudah dioperasikan, alat uji dirancang agar mudah dalam pengoperasiannya.
4. Ukuran alat uji, diharapkan ukuran alat uji tidak terlalu besar sehingga tidak membutuhkan *space* ruangan yang besar.
5. Biaya pembuatan, alat uji dirancang agar tidak memakan biaya yang mahal.
6. Sifat *portable*, diharapkan alat uji yang dirancang bersifat *portable* (tidak berat dan mudah untuk dipindahkan).
7. Kemungkinan variasi kecepatan *rotational disc*, diinginkan alat uji yang memiliki cukup banyak variasi kecepatan rotasi *disc*.
8. Kemungkinan dimassalkan, diharapkan alat uji ini bisa dimassalkan dan dipasarkan.
9. Mudah perawatan, diharapkan hasil rancangan mudah dalam perawatannya sehingga dapat bertahan lama.
10. Estetika, diinginkan alat uji yang dirancang dalam bentuk yang menarik.

Dari kriteria-kriteria yang telah ditentukan, maka metode evaluasi dengan menggunakan metode matrik keputusan sudah bisa dilakukan. Masing-masing alternatif konsep alat uji akan mendapatkan skor sesuai pemenuhan kriteria yang dimiliki masing-masing alternatif konsep alat uji. Matrik keputusan untuk pemilihan konsep alat uji ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Matrik keputusan untuk memilih konsep alat uji *pin on disc*.

No	Kriteria	Wt (a)	Konsep							
			Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Konsep 4	
			B	B.a	C	C.a	D	D.a	E	E.a
1	Kuat dan tahan lama	15	2.5	37.5	3	45	2	30	6	90
2	Komponen utama tidak banyak	5	3	15	3	15	2	10	4	20
3	Mudah dioperasikan	15	5.5	82.5	6	90	6	90	9	135
4	Ukuran alat uji	7.5	6	45	5	37.5	5	37.5	8	60
5	Biaya pembuatan	15	6	90	5	75	5	75	1	15
6	Sifat portabel	7.5	3	22.5	5	37.5	3	22.5	9	67.5
7	Kemungkinan variasi kecepatan <i>disc</i>	15	3	45	6	90	4	60	9	135
8	Kemungkinan dimassalkan	5	5	25	2	10	3	15	8	40
9	Mudah perawatan	10	5	50	2	20	3	30	8	80
10	Estetika	5	7	35	6	30	6	30	8	40
Total		100		44.75		45		40		68.25

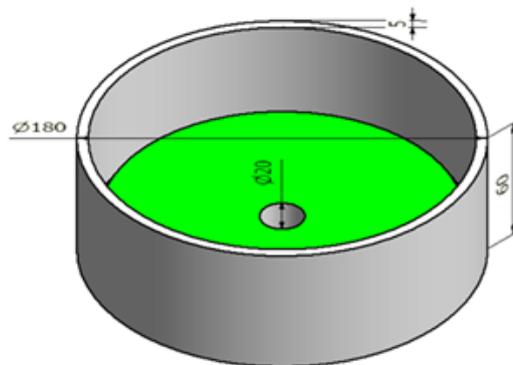
Dari evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan matrik keputusan, maka konsep yang memiliki jumlah skor tertinggi adalah konsep IV dengan jumlah skor 68,25. Berdasarkan hasil tersebut maka konsep IV akan menjadi konsep terpilih untuk dikembangkan ketahap selanjutnya, yaitu tahap perancangan spesifikasi alat uji.

4.2 Perancangan Detail Alat Uji

Berdasarkan hasil evaluasi konsep alat uji, konsep IV telah terpilih menjadi konsep yang akan dikembangkan menjadi rancangan alat uji *pin on disc*. Konsep IV memiliki komponen-komponen utama yaitu motor AC, poros, lengan dengan pembebanan vertikal diatas *rotational disc* secara langsung, serta motor *speed control* menggunakan VFD untuk memberikan variasi kecepatan pada *rotational disc*.

1. *Rotational disc*

Rotational disc merupakan suatu komponen yang berotasi pada alat uji koefisien gesek jenis *pin on disc* yang digunakan sebagai tempat spesimen uji yang berbentuk *disc*. *Rotational disc* juga berfungsi sebagai alat penampung pelumas jika pada pengujian yang dilakukan menggunakan pelumas.. Pada bagian tengah *rotational disc* terdapat lubang dengan diameter 20 mm yang digunakan untuk memasang poros sekaligus untuk *assembly* poros bersama *rotational disc*. Bentuk dari rancangan *rotational disc* dapat dilihat pada Gambar 9.

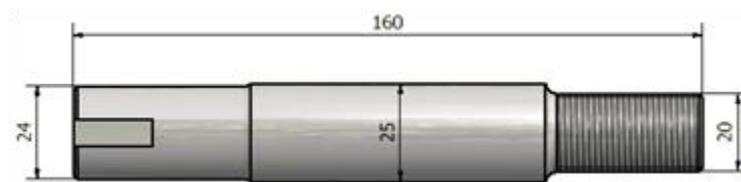


Gambar 9 Dimensi dari *Rotational Disc* (mm)

Rotational disc dirancang berbentuk bak tampung agar mampu menampung pelumas. Dengan bentuk *rotational disc* seperti Gambar 9 maka dalam pengujian bisa dilakukan penggunaan pelumas yang akan digunakan.

2. Poros

Poros merupakan suatu komponen mesin yang digunakan untuk meneruskan daya dan putaran. Poros dibuat bertingkat untuk menyesuaikan ukuran poros dengan ukuran komponen lainnya yang akan digunakan, maka ukuran diameter poros terkecil yang akan diambil adalah 20 mm dengan ulir luar, ukuran poros yang akan dihubungkan ke motor 24 mm, dan ukuran terbesar untuk *bearing* 25 mm pada bagian tengah. Salah satu pangkal poros yang akan dihubungkan ke *rotational disc* memiliki ulir luar dengan panjang total poros adalah 160 mm. Pada bagian ujung poros 24 mm dibuat memiliki alur pasak dengan ukuran standar pasak 7x7 mm dan panjang 20 mm yang berfungsi sebagai penghubung daya dan putaran ke kopling [3]. Poros yang dirancang untuk alat uji ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Rancangan Poros (mm)

3. Motor

Motor disini berfungsi sebagai sumber energi mekanik pada *rotational disc*. Motor yang digunakan adalah jenis motor AC. Dalam penentuan daya yang akan dibutuhkan pada motor tersebut, dibutuhkan beban torsi dan putaran yang akan digunakan pada *rotational disc*.

Daya yang dibutuhkan alat uji adalah 1,50 kW dan motor yang dipilih untuk memenuhi daya tersebut memiliki spesifikasi adalah motor AC dengan putaran 1400 rpm dan daya 1,5 kW. Model motor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Motor AC

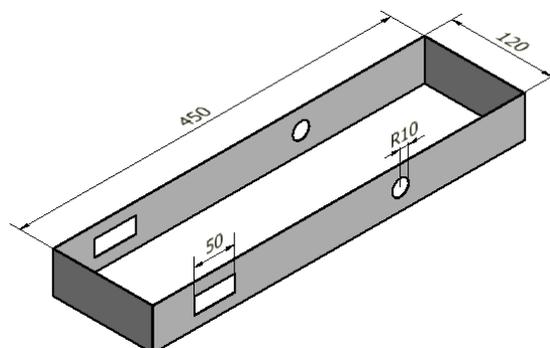
4. Lengan Fleksibel

Lengan fleksibel merupakan komponen utama yang digunakan sebagai komponen untuk mendeteksi besarnya gaya gesekan yang terjadi. Gaya gesekan diketahui dengan memanfaatkan lendutan (defleksi) yang terjadi pada lengan fleksibel yang dikonversi kedalam regangan menggunakan sensor *strain gauge*. *Strain gauge* dipasang pada lengan agar dapat mendeteksi lendutan yang terjadi pada lengan fleksibel.

Lengan fleksibel harus bersifat fleksibel (tidak kaku) agar dapat melendut bahkan dalam gaya yang kecil. Material lengan fleksibel harus mampu menahan gaya yang terjadi pada daerah deformasi elastis material yang digunakan. Untuk itu, harus dipilih bahan yang fleksibel dan tidak mudah ter-deformasi plastis. Lengan fleksibel juga dirancang agar tahan lama dan tidak mudah terkorosi. Berdasarkan kondisi tersebut, maka bahan yang digunakan untuk lengan fleksibel adalah plat *stainless steel*.

Plat *stainless steel* (*sheet stainless steel*) yang digunakan adalah *stainless steel* 304. Bahan ini memiliki kemampuan untuk tidak mudah terkorosi. Bentuknya yang berupa plat (lembaran tipis) menyebabkan lengan tersebut bersifat sangat elastis tapi tidak mudah ter-deformasi plastis karena berbahan dasar baja paduan yang memiliki kekuatan tarik yang besar (515 MPa).

Lengan fleksibel dirancang dengan panjang 450 mm, lebar 50 mm, dan menggunakan plat dengan tebal 2 mm. Lengan dibuat dengan kombinasi dua plat dalam jarak 120 mm, dan pada bagian plat dibuat alur untuk pergerakan pemegang spesimen dengan panjang alur 50 mm. Pada bagian belakang lengan ditumpu oleh sebuah spindel sehingga lengan fleksibel dapat bergerak rotasi dengan sumbu rotasi pada spindel. Lengan fleksibel berbentuk dua lengan terpisah yang dihubungkan oleh penghubung lengan pada bagian ujung-ujung lengan. Lengan fleksibel yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.

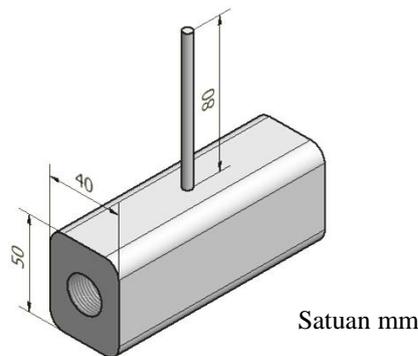


Gambar 12 Lengan Fleksibel (mm)

5. Pemegang Spesimen

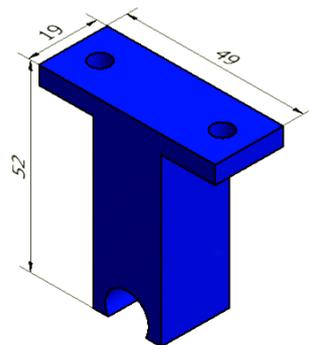
Pemegang spesimen merupakan komponen yang digunakan untuk menahan spesimen *pin* pada saat pengujian dilakukan. Komponen ini memiliki fungsi lain sebagai tempat pemberian beban (*load*) pada bagian atasnya dan berfungsi untuk meneruskan gaya gesek dari spesimen ke lengan fleksibel. Pemegang spesimen dihubungkan dengan menggunakan baut pada kedua sisinya pada alur lengan fleksibel sehingga gaya gesek yang terjadi pada spesimen *pin* dengan *disc* dapat diteruskan pada lengan fleksibel.

Pemegang spesimen ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian atas dan bagian bawah. Bagian atas merupakan komponen yang menghubungkan lengan fleksibel dengan kedudukan spesimen dan kedudukan pemberian beban seperti yang terlihat pada Gambar 13.



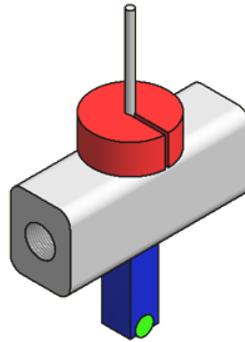
Gambar 13 Pemegang spesimen bagian atas.

Bagian bawah berfungsi sebagai tempat kedudukan spesimen uji (*pin*) yang berbentuk bola atau silinder. Bagian bawah dirancang dalam 3 ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan dan standar dari pengujian gesekan yang merujuk pada ASTM G99. Ukuran tersebut berbeda pada bagian diameter spesimen yang disediakan yaitu 12 mm, 9 mm, dan 6 mm. Pemegang spesimen bagian bawah ini dirancang dengan menggunakan suaian pas. Suaian pas digunakan pada bagian pemegang spesimen agar dapat memegang spesimen yang berbentuk bola ataupun silinder sehingga dapat menghasilkan dua jenis kontak yaitu *point* dan *line* kontak. Spesimen bagian bawah ini dihubungkan dengan bagian sebelumnya dengan menggunakan alur yang telah disediakan dengan suaian pas yang bertujuan mempermudah proses pengantiannya. Pemegang spesimen bagian bawah dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Pemegang spesimen bagian bawah.

Bentuk rancangan pemegang spesimen secara lengkap dengan contoh spesimen *pin* (warna hijau) dan pembebanan (warna merah) dapat dilihat pada Gambar 15.

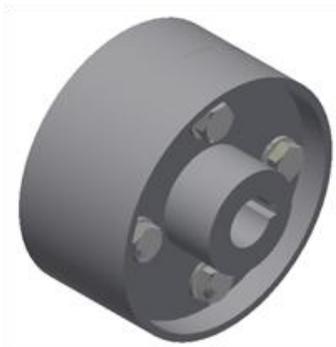


Gambar 15 Pemegang spesimen.

6. Kopling

Kopling merupakan elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan. Kopling yang digunakan dalam rancangan alat uji ini adalah jenis kopling tetap. Kopling tetap yang dipilih untuk menghubungkan poros dengan motor yang telah dirancang adalah jenis kopling flens kaku yang telah umum digunakan di pabrik-pabrik. Kopling jenis ini dipilih karena mudah dalam penggunaan dan perawatannya serta telah memiliki ukuran standar yang banyak beredar dipasaran.

Kopling flens kaku yang dirancang memiliki diameter luar 125 mm dan diameter dalam 24 mm. Rancangannya dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Rancangan kopling flens kaku.

7. Bantalan

Pada perancangan alat uji ini, bantalan yang dipilih harus mampu menahan beban aksial dan radial. Beban aksial pada poros diakibatkan pemberian gaya yang berada pada posisi vertikal di atas *rotational disc*. Gesekan antara *pin* dan *disc* yang berputar mengakibatkan pembebanan secara radial pada poros. Namun kedua beban tersebut berada pada *range* sedang karena ukuran poros dan gaya yang bekerja tidak terlalu besar.

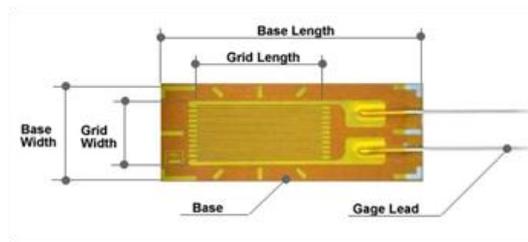
Bantalan yang dipilih adalah bantalan gelinding jenis *deep groove ball bearing* (jenis bantalan bola dengan alur dalam). Bantalan jenis ini dapat menahan beban sedang pada arah radial maupun arah aksial. *Deep groove ball bearing* mampu menahan beban putaran tinggi dan memiliki gesekan yang rendah.

Dalam perancangan alat uji ini dibutuhkan tiga buah *Deep groove ball bearing* dan satu buah *angular contact ball bearing*. Dua *deep groove ball bearing* dengan *plummer block housing* berukuran kecil diameter dalam 20 mm untuk menumpu spindel pada lengan. Pada bagian poros digunakan dua *ball bearing* berukuran kecil dengan diameter dalam 25 mm, *deep groove ball bearing* dengan *flanged housing* dan *angular contact ball bearing*.

8. Strain Gauge

Strain gauge pada alat uji ini berfungsi sebagai sensor untuk mengukur regangan yang terjadi pada lengan fleksibel atau bisa dikatakan sebagai sebuah *load cell* pada alat uji yang dirancang. Dalam memilih *strain gauge* yang tepat, faktor utama yang harus dilihat adalah besarnya regangan yang diaplikasikan pada *strain gauge*. Besarnya regangan yang diaplikasikan perlu diketahui agar *strain gauge* yang dipilih dapat mengakomodasi regangan yang diaplikasikan. Jika *strain gauge* yang dipilih terlalu besar, maka sensor akan sulit mendeteksi regangan yang kecil sehingga sensitifitas *strain gauge* kurang baik. Sebaliknya, jika *strain gauge* yang dipilih terlalu kecil dan melebihi batas kemampuan *strain gauge* untuk menerima regangan, maka kawat *strain gauge* akan rusak atau putus.

Strain gauge yang akan digunakan pada alat uji adalah *strain gauge* dengan panjang 1 mm karena regangan maksimum pengukuran sudah berada diatas regangan yang terjadi pada lengan fleksibel. *Strain gauge* yang dipilih dipasang pada jarak 120 mm dari spindel belakang lengan fleksibel. *Strain Gauge* yang digunakan memiliki ukuran base 4x2,5 mm dengan grid 1x1,5 mm.



Gambar 17 *Strain Gauge*

9. VFD (*Variable Frequency Drive*)

VFD (*Variable Frequency Drive*) merupakan komponen yang berfungsi untuk memberikan variasi frekuensi yang masuk ke motor listrik. VFD yang digunakan pada perancangan alat uji ini adalah jenis motor *speed control* untuk motor AC. Salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan motor AC adalah besarnya frekuensi yang bekerja. Dengan memvariasikan frekuensi yang masuk pada motor AC, maka kecepatan motor dapat divariasikan.

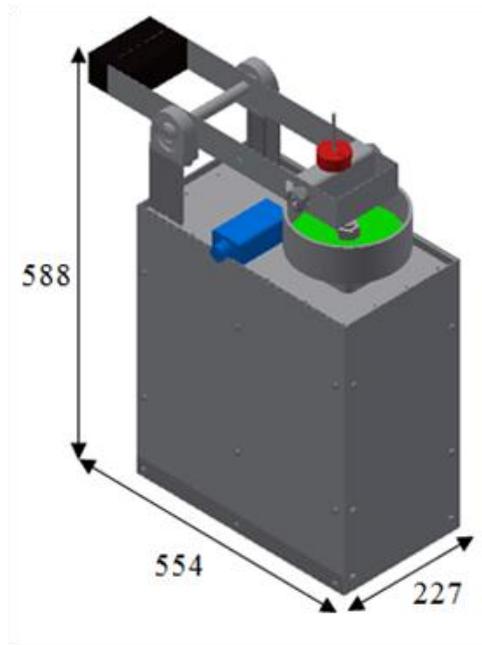
VFD yang dipilih adalah jenis VFD yang mampu bekerja dalam hingadaya 2,2 kW. VFD tersebut berfungsi untuk memvariasikan kecepatan rotasi *disc* pada alat uji. Dengan menggunakan VFD, pemberian variasi kecepatan pada *rotational disc* dapat dilakukan dengan mudah dan dapat menghasilkan banyak variasi kecepatan motor. VFD yang digunakan pada perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 VFD (*Variable Frequency Drive*)

4.3 Hasil Perancangan

Hasil dari penggabungan komponen-komponen yang telah dirancang akan membentuk alat uji *pin on disc* seperti Gambar 19.



Spesifikasi :

1. Dimensi (p x l x t)
588 x 227 x 558 mm.
2. Kecepatan Rotasi *Disc*
Bisa divariasikan.
3. Lintasan Gesekan 20-70 mm.
4. Beban Maksimum 100 N
5. Spesimen Pin
Diameter 12, 9, dan 6 mm
(silinder atau bola)
6. Spesimen *Disc*
160mm (diameter),
8mm (tebal).

Gambar 19 Hasil Perancangan Alat Uji *Pin on Disc* (ukuran dalam mm).

5 Kesimpulan

1. Langkah-langkah dalam perancangan sebuah mesin secara terintegrasi telah diuraikan, sehingga proses perancangan suatu produk ini dapat dilakukan dan dapat diajarkan langkah demi langkah kepada mahasiswa dalam waktu satu semester.
2. Dalam melakukan perancangan teknik, proses perancangan harus dilakukan secara berurutan yang dimulai dari penentuan kebutuhan, perancangan spesifikasi teknik, perancangan alat uji, perancangan detail, dan dokumentasi alat uji.
3. Alat uji jenis *pin on disc* yang dirancang pada saat ini telah memenuhi kebutuhan untuk dapat menentukan laju keausan dan koefisien gesek, yang dapat memberikan variasi kecepatan rotasi *disc* hingga 1400 rpm, variasi pembebanan hingga 100 N, dan memungkinkan penggunaan pelumas dalam pengujiannya.

Daftar Pustaka

- [1] Dieter, G.E. 2000. *“Engineering Design”*. Edisi III. Singapore : McGraw-Hill Intl. Ed.
- [2] Harsoekoesoemo, Darmawan. 2004. *“Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)”*. Edisi II. Bandung:ITB.
- [3] Apple, James M. *Tata Letak Pabrik dan Pindahkan Bahan* Edisi ke-3 (Terjemahan Nurhayati, M. T. Mardiono). Bandung. ITB. 1990.
- [4] Sularso & Kiyatsu Suga. 1997. *“Dasar Perancangan dan Pemilihan: Elemen Mesin*. Jakarta : PT. Pradnya Pramitha.
- [5] Nigel Cross, 1994, *Engineering Design Methods: strategies for product design*, 2nd edition, JohnWiley & Sons.
- [6] David G.Ullman, 1997, *The Mechanical Design Proces*, McGraw Hill.