

# PERANCANGAN KONSEP DESAIN KERETA MAGLEV

Yani Kurniawan <sup>1)</sup>, Djoko W Karmiadji, Syahid Kaffahji

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Email: yani.kurniawan@univpancasila.ac.id

## Abstract

*Maglev train is a train using magnets as a Chair of the wheel with the aim of reducing the friction between wheel and rail. The existing maglev train comes on electrical energy, it is still a bit of utilizing alternative energy. The purpose of this research is to design a maglev that energy efficient environmentally friendly & by making use of alternative energy. Research of design method using VDI 2221 beginning with the classification task, the design concept, the design of the form or manifestation, and the design is complete. The research results obtained are a maglev that has the ability to lift 6982.7 N with a maximum speed of 100 km/h as well as using the power of the Sun of 5.615 MW.*

**Keywords:** Train, maglev, VDI 2221, Design

## Abstrak

Kereta *maglev* merupakan sebuah kereta yang menggunakan magnet sebagai pengganti roda dengan tujuan mengurangi gaya gesek antara roda dan rel. Kereta *maglev* yang ada sekarang ini bersumber pada energi listrik, masih sedikit memanfaatkan energi alternatif. Tujuan penelitian ini adalah merancang sebuah kereta *maglev* yang hemat energi & ramah lingkungan dengan memanfaatkan energi alternatif. Penelitian menggunakan metode perancangan VDI 2221 yang diawali dengan klasifikasi tugas, perancangan konsep, perancangan bentuk atau wujud, dan perancangan detail. Hasil penelitian yang didapat adalah sebuah desain kereta *maglev* yang mempunyai kemampuan gaya angkat 6982,7 N dengan kecepatan maximum 100 km/jam serta menggunakan sumber tenaga listrik dari matahari sebesar 5,615 MW.

**Kata kunci:** Kereta, *maglev*, VDI 2221, perancangan

## PENDAHULUAN

Pada jaman yunani kuno, yaitu daerah yang bernama magnesia telah ditemukan bebatuan kecil yang memiliki kekuatan untuk menarik sesuatu benda yang terbuat dari besi. Bebatuan yang dapat menarik besi tersebut dinamai *magnetite*. Sejak saat itu manusia mulai berlomba-lomba untuk mengetahui sifat-sifat, fungsi dan penggunaan *magnet* dalam kehidupan dimasyarakat.

Dalam perkembangannya para peneliti terus melakukan terobosan dengan media utamanya yaitu *magnet*. Salah satu terobosan yang paling mutakhir saat ini adalah *magnetic levitation* atau disingkat *maglev*. *Maglev* merupakan beberapa teknologi yang menggunakan gaya tolak menolak antar *magnet* untuk mengambangkan suatu objek ataupun kendaraan.<sup>[1]</sup> Selama beberapa tahun belakangan ini, kereta konvensional

merupakan sebuah alat transportasi darat dan telah lama melayani masyarakat diseluruh dunia.<sup>[2]</sup> Kereta konvensional yang kita kenal sekarang ini memiliki beberapa kekurangan antara lain adalah berisik (karena adanya gesekan antara dua buah benda), dan hanya bersumber pada energi listrik tidak ada energi alternatif, tidak bisa melaju dalam kecepatan tinggi itulah beberapa kekurangan kereta konvensional. Kereta *maglev* menggunakan elektromagnet untuk melawan gaya gravitasi dari suatu objek, sehingga objek tersebut dapat mengambang di udara tanpa ada yang menahannya.<sup>[3]</sup> Kereta *maglev* bergerak tanpa adanya *bearing*, poros dan roda,<sup>[1]</sup> sehingga *maglev* dapat bergerak lebih lancar dan tidak biseng dibandingkan kereta pada umumnya, karena pada kereta *maglev* tidak terjadi gesekan antara roda dan rel.

Kereta *maglev* yang sudah ada hanya menggunakan energi listrik dan tidak menggunakan energi alternatif seperti panas

matahari, angin atau sumber energi yang lain.

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam metode perancangan yang paling penting adalah memecahkan masalah dengan menggunakan tahap demi tahap secara analisis dan sistematis. Dalam metode *Verien Deutscher 2221* (VDI 2221) yang disusun oleh Gerhard Phal dan Wolfgang Beitz dalam bukunya yang berjudul "*Engineering Design*" dibagi dalam beberapa tahapan yaitu:<sup>[4]</sup>

#### Tahap 1: Klasifikasi Tugas (*Clarifying the Task*)

Pada tahapan ini merupakan pengumpulan informasi dan menguraikannya ke dalam bentuk (*requirement list*), dan perlunya mengidentifikasi kendala-kendala yang akan dihadapi untuk mencapai solusi yang paling optimal.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat daftar spesifikasi yaitu membedakan persyaratan itu apakah keharusan (*demand*) atau keinginan (*wishes*). *Demand* merupakan segala persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan dan *wishes* adalah persyaratan dalam bentuk keinginan, dan dapat dimasukkan melalui pertimbangan-pertimbangan untuk membantu memudahkan dalam penyusunan spesifikasi, maka digunakanlah suatu daftar periksa atau disebut juga dengan (*checklist*).

#### Tahap 2: Perancangan Konsep (*Conceptual Design*)

Perancangan konsep merupakan bagian dari proses desain yang membahas mengenai abstraksi, pembuatan struktur fungsi, pencarian dalam kombinasi prinsip solusi, pemilihan kombinasi yang sesuai, pembuatan varian konsep dan evaluasi.

#### Tahap 3: Perancangan Bentuk atau Wujud (*Embodiment Design*)

Pada tahapan ini diarahkan untuk membuat bentuk awal desain (*preliminary layout*) dan bentuk akhir desain (*definitive layout*). Perancangan bentuk dimulai dengan konsep, kemudian menggunakan kriteria teknik dan ekonomi. Selanjutnya menguraikan dan mengembangkan dalam bentuk struktur fungsi untuk memperoleh elemen-elemen struktur fungsi yang memungkinkan dapat dimulainya perancangan yang lebih terperinci.

Untuk menghasilkan bentuk awal yang desain diperlukan beberapa hal yaitu:

1. Pemilihan bahan yang sesuai dengan perhitungan.
2. Pemilihan bentuk awal yang sesuai dengan bentuk awal yang baik.
3. Mengevaluasi dari segi teknis dan ekonomis.

#### Tahap 4: Perancangan Detail (*Detail Design*)

Pada perancangan detail merupakan tahapan akhir dalam proses perancangan. Pada tahapan ini diarahkan untuk membuat dokumentasi baik berupa gambar teknik, daftar komponen, perakitan dan produksi dalam membuat suatu produk. Pada tahap ini perlu dilakukan evaluasi kembali apakah produk yang ingin dihasilkan sudah memenuhi syarat yang akan ditetapkan.

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian diawali dengan fase pertama yaitu klasifikasi tugas dengan mengumpulkan informasi dengan cara penyebaran kuisioner dan wawancara kepada masyarakat (pengguna kereta) untuk menyusun spesifikasi produk.

Berdasarkan spesifikasi produk hasil fase pertama, dicarilah beberapa konsep produk yang dapat memenuhi persyaratan dalam spesifikasi tersebut. Konsep produk tersebut merupakan solusi dari masalah perancangan yang harus dipecahkan. Beberapa alternatif konsep produk kemudian dikembangkan lebih lanjut dan dievaluasi. Evaluasi tersebut harus dilakukan beberapa kriteria khusus seperti kriteria teknis, kriteria ekonomis dan lain-lain, sedangkan dari beberapa konsep produk yang memenuhi kriteria dapat dipilih solusi yang terbaik.

Fase berikutnya adalah perancangan bentuk. Pada fase perancangan bentuk ini konsep produk diberi bentuk yaitu komponen-komponen konsep produk yang dalam gambar skema atau gambar sketch masih berupa garis atau batang saja, kini harus diberi bentuk, sedemikian rupa sehingga komponen-komponen tersebut secara bersamaan menyusun bentuk produk, yang dalam gerakannya tidak saling bertabrakan sehingga produk tersebut dapat melakukan fungsinya.

Kemudian dilakukan evaluasi terhadap beberapa layout yang sudah dikembangkan lebih lanjut berdasarkan kriteria teknis, ekonomis yang lebih ketat untuk memperoleh layout yang terbaik. Definitive layout dicek dari segi kemampuan melakukan fungsi produk, kekuatan, kelayakan finansial dan lain-lain.

Fase yang terakhir adalah perancangan detail, maka susunan komponen produk, bentuk, dimensi, kehalusan permukaan, material dari setiap komponen produk sudah ditetapkan. Demikian juga kemungkinan cara pembuatan setiap produk sudah dijalan dan diperkirakan biaya untuk dihitung. Hasil akhir fase ini adalah gambar rancangan lengkap dan spesifikasi produk untuk pembuatan kedua hal tersebut disebut dokumen untuk pembuatan produk.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Fase Pertama Klasifikasi Tugas**

Pembuatan daftar spesifikasi dari penyebaran kuisiner dan wawancara kepada masyarakat (pengguna kereta) sebagai berikut:

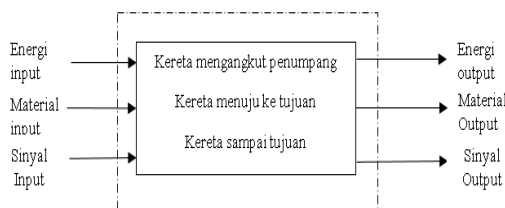
**Tabel 1.** Daftar spesifikasi

No	Teknik mesin up Demand or Wishes	Daftar Spesifikasi
		Persyaratan
1	Demand	Kereta harus mudah diooperasikan
2	Demand	Kereta harus nyaman dan aman.
3	Demand	Kereta harus mudah dalam perawatan.
4	Demand	Kereta harus mempunyai energi alternative.
5	Demand	Kereta tidak bising.
6	Wishes	Kereta datang tepat waktu.
7	Wishes	Harga tiket kereta harus murah.
8	Wishes	Kereta harus bersih setiap saat.
9	Demand	Kereta harus ramah lingkungan.
10	Demand	Biaya perawatan harus murah.
11	Demand	Sparepart kereta mudah didapat.
12	Demand	Bobot kereta harus ringan.

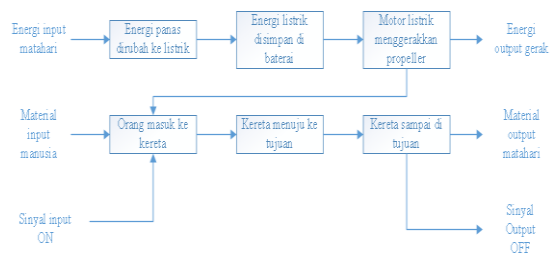
(Sumber: pengumpulan data )

**Fase kedua Perancangan Konsep**

Dari daftar spesifikasi selanjutnya dibuatkan diagram alur fungsi keseluruhan seperti gambar 1 dan struktur fungsi seperti gambar 2. Selanjutnya dibuat alternatif kombinasi konsep seperti tabel 2.



**Gambar 1.** fungsi keseluruhan (sumber: pengolahan data )



**Gambar 2.** struktur fungsi (sumber: pengolahan data)

**Tabel 2.** Kombinasi konsep

no	Subfunction	1	2	3
1	Levitasi	1.1 Elemen magnet	1.2 Magnet	1.3 Superconductor
2	Penggerak	2.1 Motor Dc	2.2 Motor Ac	
3	Storage	3.1 Aki basah	3.2 Aki kering	
4	Sumber Energi	4.1 Tenaga matahari	4.2 Tenaga angin	4.3 Tenaga air
5	Pendorong	5.1 Propeler	5.2 Roket	
6	Rangka	6.1 SRS	6.2 Besi U	6.3 Pasagi P
7	Bodi	7.1 Plat besi	7.2 Fiberglass	

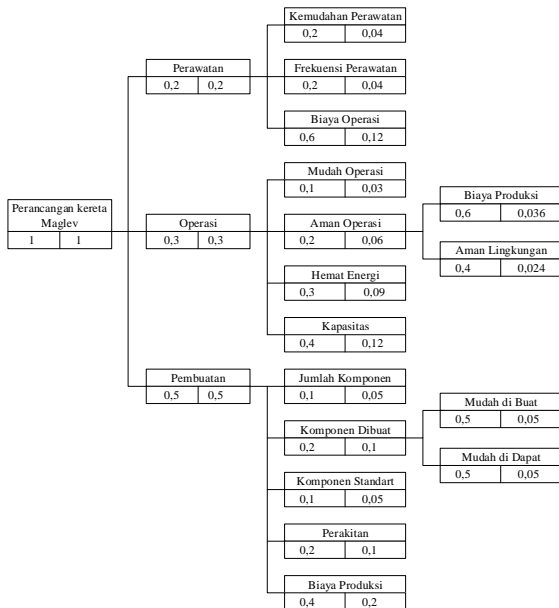
Variant 1      Variant 3      Variant 2

(Sumber: pengolahan data )

Dari kombinasi prinsip solusi yang terdapat pada table diatas varian sebagai berikut :

- Varian 1 (orange) = 1-1, 2-2, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-1.
- Varian 2 (merah) = 1-2, 2-1, 3-2, 4-2, 5-2, 6-2, 7-2.
- Varian 3 (biru) = 1-3, 2-2, 3-1, 4-3, 5-2, 6-3, 7-2.

Setelah terdapat tiga varian selanjutnya dievaluasi alternatif konsep menggunakan kriteria pembobotan (gambar 3) dan pembobotan tiap-tiap varian (tabel 3-tabel 5).



Gambar 3. Kriteria pembobotan (sumber: pengolahan data)

**Tabel 3. Pembobotan varian 1**

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Variant 1		
				H	M	BM
1	Kemudahan perawatan	0,04	Bentuk	Sangat Penting	4	0,16
2	Frekuensi perawatan	0,04	Waktu	Cukup	2	0,08
3	Biaya operasi	0,12	Harga	Sangat Penting	4	0,48
4	Mudah operasi	0,03	Pengoprasian	Sangat Penting	4	0,12
5	Aman operasi	0,06	Harga	Sangat Penting	4	0,24
6	Hemat energi	0,09	Daya	Sangat Penting	4	0,36
7	Kapasitas	0,12	Orang	Sangat Penting	4	0,48
8	Jumlah komponen	0,05	Unit	Cukup	3	0,15
9	Mudah dibuat	0,1	Bentuk	Sangat Penting	4	0,4
10	Komponen standart	0,05	Jumlah komponen standart	Cukup	2	0,1
11	Perakitan	0,1	Bentuk	Sangat Penting	4	0,4
12	Biaya produksi	0,2	Harga	Sangat Penting	4	0,8
Jumlah		1	Jmlh			3,77

(Sumber: pengolahan data)

**Tabel 4. Pembobotan varian 2**

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Variant 1		
				H	M	BM
1	Kemudahan perawatan	0,04	Bentuk	Sangat Penting	4	0,16
2	Frekuensi perawatan	0,04	Waktu	Penting	3	0,12
3	Biaya operasi	0,12	Harga	Sangat Penting	4	0,48
4	Mudah operasi	0,03	Pengoprasian	Penting	3	0,09
5	Aman operasi	0,06	Harga	Sangat Penting	4	0,24
6	Hemat energi	0,09	Daya	Penting	3	0,27
7	Kapasitas	0,12	Orang	Sangat Penting	4	0,48
8	Jumlah komponen	0,05	Unit	Penting	3	0,15
9	Mudah dibuat	0,1	Bentuk	Penting	3	0,3
10	Komponen standart	0,05	Jumlah komponen standart	Penting	3	0,15
11	Perakitan	0,1	Bentuk	Cukup	2	0,2
12	Biaya produksi	0,2	Harga	Penting	3	0,6
Jumlah		1	Jmlh			3,24

(Sumber: pengolahan data)

Tabel 5. Pembobotan varian 3

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Variant 1		
				H	M	BM
1	Kemudahan perawatan	0,04	Bentuk	Penting	3	0,12
2	Frekuensi perawatan	0,04	Waktu	Penting	3	0,12
3	Biaya operasi	0,12	Harga	Cukup	2	0,24
4	Mudah operasi	0,03	Pengoprasian	Sangat Penting	4	0,12
5	Aman operasi	0,06	Harga	Sangat Penting	4	0,24
6	Hemat energi	0,09	Daya	Penting	3	0,27
7	Kapasitas	0,12	Orang	Cukup	2	0,24
8	Jumlah komponen	0,05	Unit	Penting	3	0,15
9	Mudah dibuat	0,1	Bentuk	Cukup	2	0,2
10	Komponen standart	0,05	Jumlah komponen standart	Cukup	2	0,1
11	Perakitan	0,1	Bentuk	Penting	3	0,3
12	Biaya produksi	0,2	Harga	Penting	3	0,6
Jumlah		1	Jmlh			2,7

(Sumber: pengolahan data)

Menentukan Rating Varian

$$WRJ = \frac{OWV_j}{VMAX \sum_{i=1}^n W_i} \tag{1}$$

$$\text{Varian 1} = WRJ = \frac{3,77}{3 \times 12} = 0,1047$$

$$\text{Varian 2} = WRJ = \frac{3,24}{3 \times 12} = 0,09$$

$$\text{Varian 3} = WRJ = \frac{2,7}{3 \times 12} = 0,075$$

$$\text{Rangking 1} = \text{Varian ke 1} = 0,1047$$

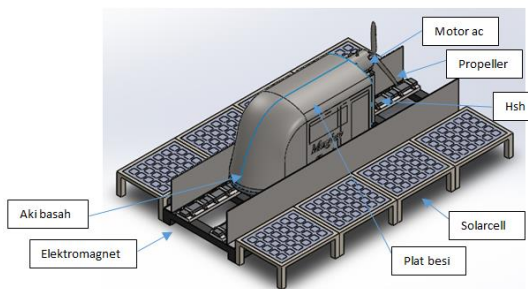
$$\text{Rangking 2} = \text{Varian ke 2} = 0,09$$

$$\text{Rangking 3} = \text{Varian ke 3} = 0,075$$

Karena varian 1 mendapatkan nilai paling tinggi di antara yang lain maka dipilihlah varian 1 sebagai pilihan utama dengan spesifikasi kereta *maglev* menggunakan Elektromagnet, Motor Listrik, Accumulator, Solarcell, Propeler.

**Fase Ketiga Perancangan Bentuk**

Dari varian yang terpilih selanjutnya dibaut gambar sedemikian rupa sehingga komponen-komponen tersebut secara bersamaan menyusun bentuk produk, yang dalam gerakannya tidak saling bertabrakan sehingga produk tersebut dapat melakukan fungsinya seperti gambar 4.



Gambar 4. Konsep kereta *maglev* (sumber: pengolahan data)

Evaluasi dilakukan dengan merancang komponen-komponen yang ada pada kereta *maglev*.

- a. Perhitungan gaya angkat kereta *maglev*

Untuk mendapatkan gaya angkat kereta dapat menggunakan persamaan:

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

Dengan  $F$  adalah massa benda (N),  $m$  adalah berat benda yaitu 711,8 (kg), dan  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Sehingga gaya angkat kereta *maglev* adalah

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= 711,8 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ F &= 6982,7 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Kebutuhan arus listrik untuk mengangkat kereta  
Untuk menghitung kebutuhan arus listrik dapat menggunakan persamaan:

$$F = I^2 \frac{\mu_0}{2\pi r} \quad (3)$$

Dimana  $F$  adalah gaya angkat kereta yaitu 6982,7 (N),  $I$  adalah arus (A),  $l$  adalah panjang kawat yaitu 50000 (m),  $\mu_0$  adalah permeabilitas ruang hampa yaitu  $4\pi \times 10^{-7}$  (m/A),  $r$  adalah jarak dari kawat yaitu 600 (m), sehingga kebutuhan arus sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned} 6982,7 &= I^2 \cdot 50000 \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi \cdot 600} \\ 6982,7 &= I^2 \cdot 50000 \frac{12,56 \times 10^{-7}}{3768} \\ 6982,7 &= I^2 \cdot 50000 \cdot 3,3 \times 10^{-10} \\ 6982,7 &= I^2 \cdot 1,6 \times 10^{-5} \\ I^2 &= \frac{6982,7}{1,6 \times 10^{-5}} \\ I^2 &= 4364,18 \times 10^5 \\ I^2 &= \sqrt{4364,18 \times 10^5} \\ I^2 &= 6606194,063 \text{ A} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan daya listrik  
Untuk menghitung daya listrik maka dapat menggunakan persamaan:

$$P = V \cdot I \quad (4)$$

Dengan  $P$  adalah daya listrik,  $V$  adalah kecepatan perubahan energi yaitu 0,85 (V),  $I$  adalah arus yaitu 6606194,063 (A), maka perhitungan daya listrik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ P &= 0,85 \text{ V} \cdot 6606194,063 \text{ A} \\ P &= 5615264,954 \text{ watt} \\ P &= 5615,264 \text{ kw} \\ P &= 5,615 \text{ mw} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan luas area photovoltaic array

Untuk menghitung luas solarcell dapat menggunakan persamaan:

$$\text{Area array} = \frac{E_L}{G_{av} \cdot \mu_{PV} \cdot TCF \cdot \eta_{output}} \quad (5)$$

Dengan *area array* merupakan luas penampang solarcell,  $E_L$  merupakan

pemakaian energi yaitu 5615,264 (kw),  $G_{av}$  merupakan insolasi harian rata - rata matahari yaitu 16 (wh),  $TCF$  merupakan temperature correction factor yaitu 1,  $\eta_{output}$  merupakan efisiensi output dari solarcell 10%. Maka perhitungan luas area solarcell sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Area array} &= \frac{E_L}{G_{av} \cdot \mu_{PV} \cdot TCF \cdot \eta_{output}} \\ \text{Area array} &= \frac{5615,264}{16 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 10} \\ \text{Area array} &= 2,3 \text{ meter} \end{aligned}$$

- e. Perhitungan daya yang dibangkitkan solarcell

Untuk menghitung daya yang dibangkitkan solarcell dapat menggunakan persamaan:

$$P \text{ Watt peak} = \text{Area array} \cdot PSI \cdot \eta_{PV} \quad (6)$$

Dimana  $P \text{ Watt peak}$  merupakan daya yang dibangkitkan solarcell,  $\text{Area array}$  merupakan luas solarcell yaitu 2,3 (m),  $PSI$  merupakan *peak solar insolation* yaitu 1000 (wh),  $\eta_{PV}$  merupakan efisiensi modul surya yaitu 15%. Maka perhitungan daya yang dibangkitkan solarcell sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P \text{ Watt peak} &= \text{Area array} \cdot PSI \cdot \eta_{PV} \\ P \text{ Watt peak} &= 2,3 \cdot 1000 \cdot 15 \\ P \text{ Watt peak} &= 34500 \text{ watt} \end{aligned}$$

- f. Perhitungan jumlah solarcell yang dibutuhkan

Untuk menghitung jumlah solarcell yang dibutuhkan maka dapat menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah Solarcell} = \frac{P_{\text{watt peak}}}{P_{MPP}} \quad (7)$$

Dimana  $P \text{ Watt peak}$  merupakan daya yang dibangkitkan solarcell yaitu 34500 (w),  $P_{MPP}$  merupakan daya maksimum modul surya yaitu 100 (w). Maka perhitungan jumlah solarcell sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Solarcell} &= \frac{P_{\text{watt peak}}}{P_{MPP}} \\ \text{Jumlah Solarcell} &= \frac{34500}{100} \\ \text{Jumlah Solarcell} &= 345 \text{ buah.} \end{aligned}$$

### Fase Kempat Perancangan Detail

Pada fase terakhir ini dilakukan pembuatan gambar rancangan lengkap dan spesifikasi produk untuk pembuatan kedua hal tersebut yang disebut dokumen untuk pembuatan produk.

