

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Secara umum, terdapat penelitian tentang perancangan dan pembuatan alat bantu untuk meningkatkan kenyamanan, produktivitas dan mengurangi waktu proses. Antana dkk (2016) meneliti proses pemintalan agel secara manual yang menyebabkan kualitas pintalan kurang baik dan waktu proses yang lama. Mesin pemintal agel hasil rancangan lebih ergonomis, mudah dioperasikan, sederhana dan tidak perlu operator khusus. Dengan mesin tersebut, kapasitas produksi meningkat sebesar 56.67% dan hasil pintalan lebih baik. Wiraghani & Prasnowo (2017) merancang alat potong sol sandal otomatis. Sebelumnya, pemotongan sol sandal dilakukan secara manual dengan kapasitas 602 buah setiap hari. Alat hasil rancangan mampu meningkatkan kapasitas menjadi 2946 buah setiap hari. Ghazali dkk (2013) merancang alat pemeras kelapa parut yang ergonomis. Alat hasil rancangan dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal*, waktu siklus sebesar 5% dan meningkatkan *output* sebesar 20%. Andriani & Subhan (2016) merancang meja dan kursi untuk proses pengulenan adonan krupuk yang mampu mengurangi waktu standar dari 1.25 menit menjadi 0.98 menit.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian terhadap proses pembuatan kain tenun. Wignjosoebroto & Sutaji (2000) melakukan penelitian pada operasi tenun di CV. Bamiri dan CV. Gamiri. Dalam penelitiannya dilakukan perancangan alat tenun yang sesuai dengan antropometri operator sehingga alat tenun yang digunakan lebih ergonomis. Mufti dkk (2013) melakukan penilaian postur kerja pada operasi tenun songket pandai sikek. Berdasarkan penelitian, terdapat 2 aktivitas yang beresiko tinggi sehingga diperlukan perbaikan pada alat tenun yang digunakan. Wartiono dkk (2015) merancang alat tenun mekatronika menggunakan PLC yang dapat meningkatkan produktivitas. Penelitian tersebut telah mencakup penilaian postur kerja dan perancangan alat tenun untuk meningkatkan kenyamanan dan produktivitas. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan alat pada proses pendukungnya yaitu penggulungan benang untuk meningkatkan kenyamanan, kualitas dan mengurangi waktu proses.

Kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) banyak digunakan peneliti dalam penelitiannya. Anis dkk (2014) menggunakan kuesioner NBM pada operator

tenun ikat torso pada setiap proses produksi untuk mengetahui keluhan *musculoskeletal*. Bawole dkk (2014) menggunakan kuesioner NBM untuk mencari prevalensi gangguan pada seluruh tubuh ketika sebelum bekerja, setelah 4 jam bekerja dan 1 jam setelah selesai bekerja. Wignjosoebroto & Sutaji (2000) menggunakan kuesioner NBM sebelum dan sesudah perancangan ulang fasilitas kerja. Hasil kuesioner NBM menunjukkan perubahan keluhan *musculoskeletal* sebelum dan setelah perancangan fasilitas. Dalam penelitian ini kuesioner NBM digunakan untuk mengetahui keluhan *musculoskeletal* operator penggulung benang sebelum dan sesudah perancangan alat.

Hidayat & Nurwildan (2013) meneliti aktivitas penyiraman bawang merah yang menimbulkan keluhan *musculoskeletal*. Untuk mengatasinya, dilakukan perancangan alat bantu penyiram bawang merah dengan metode rasional. Hasil rancangan alat bantu penyiram bawang merah sesuai dengan tujuannya. Prakosa & Tantowi (2010) membandingkan metode kreatif dan metode rasional dalam perancangan alat bantu pasang lampu. *Prototype* yang dirancang dengan metode rasional memiliki bobot dan *efficiency of use* yang lebih tinggi daripada *prototype* yang dirancang dengan metode kreatif. *Error* pada *prototype* metode rasional lebih kecil jika dibandingkan dengan *prototype* metode kreatif. *Prototype* alat bantu pasang lampu dengan metode rasional lebih mudah digunakan dan 86,67% responden lebih puas. Dalam penelitian tersebut, disimpulkan bahwa metode rasional lebih baik daripada metode kreatif pada proses perancangan alat bantu pasang lampu.

Wignjosoebroto dkk (2008) melakukan penelitian pada pengrajin gerabah di daerah Kasongan. Pengrajin gerabah menggunakan alat bantu berupa *perboard* yang diputar menggunakan salah satu kaki dengan posisi duduk di lantai. Peneliti merancang fasilitas kerja berupa *perboard* dengan tinggi sesuai antropometri pengrajin gerabah yang dilengkapi *motor* serta kursi yang tingginya dapat diatur. Setelah perbaikan fasilitas kerja, terdapat penurunan jumlah keluhan *musculoskeletal* dan peningkatan produktivitas yang ditandai penurunan waktu standar dan peningkatan *output* standar. Terdapat aktivitas serupa dalam proses pembuatan gerabah dan penggulungan benang yaitu aktivitas memutar benda. Aktivitas memutar secara manual dapat diganti menggunakan *motor*. Prinsip antropometri dalam fasilitas kerja yang sesuai dengan penggunaannya juga dapat diterapkan dalam perancangan alat penggulung benang.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian sekarang dilaksanakan di UMKM Sumber Sandang yang memproduksi kain tenun lurik. Penelitian bertujuan merancang alat penggulung benang elektrik untuk mengurangi keluhan *musculoskeletal* operator, meningkatkan kualitas hasil dan mengurangi waktu proses penggulangan benang. Kuesioner *Nordic Body Map (NBM)* digunakan untuk mengidentifikasi keluhan *musculoskeletal* operator penggulangan benang sebelum dan sesudah perancangan alat. Hasil gulungan benang sebelum dan setelah perancangan alat dibandingkan. Pendekatan waktu proses digunakan untuk mengetahui perubahan waktu proses penggulangan benang dengan alat manual dan alat hasil rancangan. Perancangan alat penggulung benang elektrik menggunakan metode rasional. Alat yang dirancang disesuaikan dimensi antropometri operator penggulangan benang. Ringkasan mengenai penelitian terdahulu dan sekarang terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian	Obyek Penelitian	Penggunaan Pendekatan	Output
(Wignjosoebroto & Sutaji, 2000)	Operator tenun di CV. Bamiri dan CV. Gamiri	NBM, Antropometri, Biomekanika	Rancangan alat tenun sesuai antropometri operator
(Wignjosoebroto dkk, 2008)	Pengrajin gerabah di Kasongan, Yogyakarta	NBM, Denyut jantung, Konsumsi energi, Biomekanika, Produktivitas	Rancangan kursi dan meja kerja pembuatan kerajinan gerabah
(Prakosa & Tantowi, 2010)	Alat bantu pasang lampu	Metode Rasional, Metode Kreatif	Perbandingan metode rasional dan kreatif
(Ghazali dkk, 2013)	Operator pemeras kelapa parut	NBM, QFD, Antropometri, Waktu Proses	Alat pemeras kelapa parut

Tabel 2.1. Lanjutan

Penelitian	Obyek Penelitian	Penggunaan Pendekatan	Output
(Hidayat & Nurwildan, 2013)	Pekerja penyiraman bawang merah	NBM, Metode rasional, Antropometri	Alat penyiram bawang merah
(Mufti dkk, 2013)	Operator tenun pandai sikek	NBM, RULA	Level resiko proses tenun
(Anis dkk, 2014)	Operator tenun ikat torso	NBM, QEC	Tingkat keluhan dan proses yang perlu perbaikan
(Bawole dkk, 2014)	Pembatik difabel	NBM, RULA, <i>Hierarchical Task Analysis</i>	Rancangan Alat membatik
(Wartiono dkk, 2015)	Industri tenun ATBM	Sistem PLC	Alat tenun mekatronika
(Andriani & Subhan, 2016)	Operator pengulenan adonan krupuk	RULA, Antropometri, Waktu Standar	Fasilitas kerja pengulenan adonan kerupuk
(Antana dkk, 2016)	Operator pemintal agel	Kapasitas Produksi	Mesin pemintal agel
(Wiraghani & Prasnowo, 2017)	Operator pemotongan sol sandal	<i>Binary dominance matrix</i> , VOC, Waktu proses	Rancangan mesin pemotong sol sandal
(Peneliti, 2019)	Operator penggulung benang di UMKM Sumber Sandang	NBM, Waktu Proses, Kualitas, Antropometri, Metode Rasional	Rancangan alat penggulung benang elektrik

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Ergonomi

Ergonomi didefinisikan menurut Tarwaka dkk (2004) sebagai kombinasi antara ilmu, seni dan teknologi untuk menyelaraskan fasilitas yang digunakan dalam beraktivitas dan istirahat dengan kemampuan serta keterbatasan manusia yang

mencakup fisik maupun mental sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup. Menurut Nurmianto (2008), penerapan ergonomi adalah aktivitas rancang bangun atau rancang ulang.

Secara umum, tujuan dari penerapan ergonomi menurut Tarwaka dkk (2004), adalah:

- a. Meningkatkan kesehatan fisik sekaligus mental dengan mencegah cedera maupun penyakit yang disebabkan kerja, mereduksi beban akibat kerja yang mencakup fisik dan mental.
- b. Melakukan peningkatan kesejahteraan bidang sosial melalui cara meningkatkan kualitas hubungan sosial, melakukan pengelolaan serta koordinasi kerja dengan baik dan melakukan peningkatan penjaminan sosial.
- c. Menyeimbangkan beberapa aspek seperti teknik, ekonomi, antropologi serta budaya suatu sistem kerja untuk meningkatkan kualitas.

2.2.2. Keluhan *Musculoskeletal*

Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pada otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang. Jika otot mendapatkan beban statis berulang-ulang dalam jangka waktu lama, dapat menyebabkan beberapa keluhan seperti kerusakan sendi, tendon dan ligamen. Keluhan otot terbagi menjadi dua yaitu:

- a. Keluhan sementara (*reversible*) adalah terjadinya keluhan otot ketika otot mendapatkan beban statis, akan tetapi keluhan tersebut akan segera hilang jika pembebanannya dihentikan.
- b. Keluhan menetap (*persistent*) adalah keluhan otot yang sifatnya menetap. Meskipun telah dihentikan pembebanan kerja, rasa sakit di otot terus berlanjut.

Menurut Peter Vi (2000) dalam Tarwaka dkk (2004), penyebab keluhan *musculoskeletal* yaitu:

a. Peregangan Otot yang Berlebihan

Peregangan otot yang berlebihan (*over exertion*) pada umumnya sering dikeluhkan pekerja yang bekerja dengan pengerahan tenaga yang besar seperti mengangkat, mendorong, menarik dan menahan beban yang berat. Peregangan otot yang berlebihan terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot. Jika hal serupa sering dilakukan, maka dapat meningkatkan resiko terjadinya keluhan otot, bahkan dapat menyebabkan terjadinya cedera otot skeletal.

b. Aktivitas Berulang

Aktivitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus seperti pekerjaan memotong pola, membelah kayu, mengangkat serta mengangkut dan sebagainya. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

c. Sikap Kerja Tidak Alami

Sikap kerja tidak alami adalah sikap kerja yang dapat menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh menjauhi posisi alami, seperti pergerakan tangan terangkat, punggung terlalu membungkuk, kepala terangkat dan sebagainya. Semakin jauh posisi bagian tubuh dari pusat gravitasi tubuh, maka resiko terjadinya keluhan otot skeletal semakin tinggi.

d. Faktor Penyebab Sekunder

Faktor penyebab sekunder terjadinya keluhan muskuloskeletal terdiri dari tekanan, getaran dan iklim mikro. Terjadinya tekanan pada jaringan otot yang lunak dapat menyebabkan rasa nyeri otot yang menetap. Getaran berfrekuensi tinggi dapat menyebabkan bertambahnya kontraksi otot yang dapat menimbulkan rasa nyeri otot. Perbedaan suhu yang tinggi antara suhu tubuh dan lingkungan menyebabkan sebagian energi dalam tubuh digunakan untuk beradaptasi dengan lingkungan. Hal tersebut menyebabkan kurangnya pasokan energi dalam otot yang dapat menimbulkan nyeri otot.

2.2.3. Nordic Body Map (NBM)

Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur keluhan muskuloskeletal adalah kuesioner *Nordic Body Map* (NBM). Kuesioner *Nordic body map* berisi pertanyaan tentang keluhan muskuloskeletal untuk setiap bagian tubuh. Dalam kuesioner tersebut dilengkapi gambar berupa peta tubuh manusia sehingga memudahkan responden dalam pengisian kuesioner. Menurut Corlett (1992) dalam Tarwaka dkk (2004), Bagian-bagian otot yang mengalami keluhan dapat diketahui dengan menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* (NBM). Kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) menurut Perhimpunan Ergonomi Indonesia (2016) dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Bagian B. Isian

Mohon berikan informasi tentang masalah apapun (seperti sakit, nyeri, atau tidak nyaman) yang Anda rasakan pada bagian tubuh seperti ditunjukkan pada area yang diarsir pada diagram berikut.

Silakan beri tanda centang (✓) pada salah satu kotak untuk setiap pertanyaan berikut.

Bagian Tubuh	Apakah dalam 12 bulan terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?	Selama 12 bulan terakhir, apakah Anda terhalang dalam menjalankan aktivitas normal karena masalah tersebut pada bagian tubuh ini?	Apakah dalam 7 hari terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?
LEHER	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
BAHU	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri
PUNGGUNG ATAS	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
SIKU	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri
PUNGGUNG BAWAH	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
PERGELANGAN TANGAN	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri
BOKONG/PAHA	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri
LUTUT	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri
PERGELANGAN KAKI	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri

Gambar 2.1. Kuesioner Nordic Body Map (NBM)

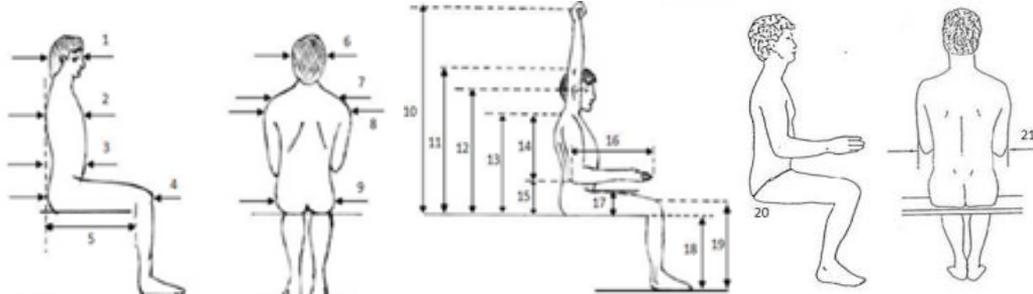
2.2.4. Antropometri

Antropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh yang sesuai dengan rancangan yang dipakai orang. Menurut Wignjosoebroto dkk (2008), antropometri digunakan sebagai pertimbangan ergonomis dalam merancang produk atau sistem kerja yang terdapat interaksi manusia. Data antropometri dapat diaplikasikan pada hal berikut:

- Rancangan area kerja (stasiun kerja, panel kendali pesawat, dll)
- Rancangan peralatan kerja (mesin, dan perkakas).
- Rancangan produk konsumsi (busana dan almari).
- Rancangan lingkungan kerja.

Sutarman (1972) dalam Tarwaka dkk (2004), menyatakan bahwa dengan mengetahui ukuran antropometri tenaga kerja, dapat dibuat rancangan alat kerja yang sesuai dengan tenaga kerja, sehingga menciptakan kenyamanan, kesehatan, keselamatan dan estetika kerja. Presentil adalah persentase sekelompok orang yang dimensinya sama atau lebih kecil dari nilai tersebut. Nurmiyanto (2008), presentil 95 dan 5 secara berurutan menunjukkan ukuran tubuh besar dan kecil. Berikut ini adalah contoh dimensi antropometri. Dimensi antropometri posisi duduk terdapat pada Gambar 2.2. dan keterangan nama

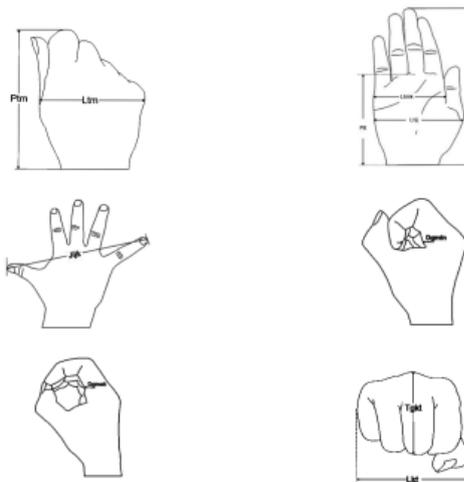
dimensi antropometri posisi duduk terdapat pada Tabel 2.2. Dimensi antropometri tangan terdapat pada Gambar 2.3. dan keterangan nama dimensi antropometri tangan terdapat pada Tabel 2.3.



Gambar 2.2. Antropometri Posisi Duduk

Tabel 2.2. Dimensi Antropometri Posisi Duduk

No	Dimensi Antropometri	Simbol
1	Panjang kepala	PKD
2	Tebal dada	TDD
3	Tebal perut	TPR
4	Panjang lutut duduk	JPL
5	Panjang pantat ke popliteal	PKP
6	Lebar kepala	LKP
7	Lebar bahu bagian atas	LBA
8	Lebar bahu duduk	LBD
9	Lebar pinggul duduk	LPD
10	Tinggi genggam ke atas duduk	TGD
11	Tinggi duduk tegak	TDT
12	Tinggi mata duduk	TMD
13	Tinggi bahu duduk	TBD
14	Panjang bahu ke siku	BKS
15	Tinggi siku duduk	TSD
16	Panjang lengan bawah duduk	PLB
17	Tebal paha duduk	THD
18	Tinggi popliteal duduk	TPD
19	Tinggi lutut duduk	TLD
20	Keliling pantat duduk	KLP
21	Lebar siku ke siku duduk	SKS



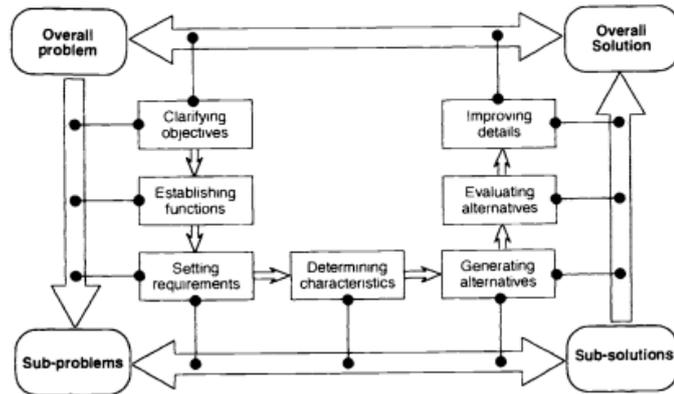
Gambar 2.3. Antropometri Tangan

Tabel 2.3. Dimensi Antropometri Tangan

No	Dimensi Antropometri	Simbol
1	Panjang tangan menggenggam	PTM
2	Lebar tangan menggnggam	LTM
3	Panjang tangan	PT
4	Panjang telapak tangan	PTT
5	Lebar tangan metacarpal	LTMK
6	Lebar tangan sampai ibu jari	LTJJ
7	Jarak ibu jari kelingking	JJK
8	Diameter genggaman maksimal	DGMak
9	Diameter genggaman minimal	DGMin
10	Lebar kepalan tangan	LKT
11	Tinggi kepalan tangan	TGKT

2.2.5. Metode Rasional

Menurut Cross (2008), metode rasional merupakan salah satu metode perancangan dengan menggunakan pendekatan yang sistematis. Maksud dari pendekatan sistematis adalah untuk meningkatkan kualitas keputusan desain dan produk akhir. Tujuan dari metode rasional adalah memperluas area pencarian solusi yang potensial atau memberikan fasilitas kerja tim serta pengambilan keputusan. Tahapan metode perancangan dalam model masalah/solusi simetris dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Tahapan Metode Perancangan dalam Model Masalah/Solusi Simetris

Gambar 2.5. menunjukkan 7 tahap perancangan dalam Metode Rasional yang saling berhubungan. Sebagai contoh tahap klarifikasi tujuan digunakan untuk memahami hubungan antara masalah dan solusi dan mendefinisikan masalah keseluruhan menjadi sub masalah. Aspek prosedural ditunjukkan dari urutan berlawanan arah jarum jam mulai dari tahapan kiri atas. Aspek struktural ditunjukkan oleh tanda panah yang menunjukkan hubungan antara masalah dan solusi dan hubungan secara hirarki antara masalah/sub masalah serta antara sub solusi dan solusi. Berikut ini adalah penjelasan 7 tahapan dalam metode rasional menurut Cross (2008).

a. Klarifikasi Tujuan

Klarifikasi tujuan dilakukan untuk memperjelas tujuan maupun sub tujuan dari perancangan dan hubungannya. Tujuan perancangan sangat penting untuk membantu mengontrol dan mengelola proses perancangan. Metode yang digunakan dalam tahap klarifikasi tujuan adalah metode pohon tujuan (*Objective Tree*). Tahapan dalam metode pohon tujuan adalah:

- i. Mempersiapkan daftar tujuan perancangan yang diperoleh dari wawancara dan diskusi dengan klien maupun tim perancang.
- ii. Mengurutkan daftar tujuan perancangan dari level tertinggi ke level terendah.
- iii. Membuat diagram pohon tujuan yang menunjukkan hubungan secara hirarkis. Bagian cabang menunjukkan bagaimana cara mencapai tujuan.

b. Penetapan Fungsi

Penetapan fungsi bertujuan untuk menetapkan fungsi yang dibutuhkan dan batasan perancangan. Metode dalam penetapan fungsi adalah analisis

fungsionalitas. Tahapan analisis fungsionalitas adalah:

- i. Menunjukkan fungsi keseluruhan yang digunakan untuk merubah *input* menjadi *output* menggunakan *Black Box*. *Black Box* memuat semua fungsi yang dibutuhkan untuk mengubah *input* menjadi *output*.
- ii. Menjabarkan keseluruhan fungsi menjadi beberapa sub fungsi. Perubahan *input* menjadi *output* merupakan aktivitas yang kompleks dalam *Black Box* yang harus dijabarkan menjadi sub aktivitas atau sub fungsi.
- iii. Menggambar *block diagram* yang menunjukkan hubungan antar sub fungsi. Block diagram terdiri dari seluruh sub fungsi secara terpisah dalam kotak dan dihubungkan dengan *input* dan *output*. *Black Box* diubah menjadi *Transparent Box* sehingga sub fungsi dan hubungannya dapat terlihat.
- iv. Menguraikan batasan sistem. Batasan digambarkan disekeliling sub fungsi untuk menunjukkan batasan fungsi dalam produk yang dirancang.
- v. Mencari komponen yang dapat digunakan dalam sub fungsi dan hubungannya. Jika sub fungsi telah ditetapkan maka dapat diidentifikasi komponen yang sesuai untuk setiap sub fungsi.

c. Penetapan Spesifikasi

Tujuan penetapan spesifikasi adalah untuk menetapkan spesifikasi yang akurat dari kebutuhan performansi rancangan. Metode yang digunakan adalah *Performance Specification*. Tahapan dalam metode tersebut adalah:

- i. Mempertimbangkan solusi berbeda yang memiliki kemungkinan untuk dapat diimplementasikan.
- ii. Menentukan tingkatan operasi. Semakin tinggi tingkatannya maka perancang akan semakin bebas dalam melakukan perancangan.
- iii. Mengidentifikasi atribut performansi yang diperlukan.
- iv. Menetapkan performansi yang diperlukan.

d. Penentuan Karakteristik

Tujuan penentuan karakteristik adalah untuk menetapkan target dari karakteristik produk. Metode yang digunakan adalah *Quality Function Deployment (QFD)*. Metode QFD mampu menyesuaikan keinginan konsumen dengan karakteristik teknik produk. Tahapan dalam metode QFD adalah:

- i. Mengidentifikasi keinginan konsumen terhadap atribut produk.
- ii. Menentukan tingkat kepentingan dari atribut produk.
- iii. Mengevaluasi atribut dari produk pesaing.
- iv. Menggambar matriks atribut produk terhadap karakteristik teknik.

- v. Mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknik dan atribut produk.
- vi. Mengidentifikasi setiap interaksi yang relevan antara karakteristik teknik.
- vii. Menetapkan target yang harus didapatkan.

e. Pembangkitan Alternatif

Pembangkitan alternatif memiliki tujuan dalam memperluas pencarian solusi sehingga diperoleh alternatif yang lengkap. Metode yang digunakan adalah *Morphological Chart*. Metode *Morphological Chart* membantu perancang untuk mengidentifikasi kombinasi baru dari elemen atau komponen. Tahapan dalam metode *Morphological Chart* adalah:

- i. Membuat daftar fitur atau fungsi yang penting bagi produk untuk menetapkan aspek-aspek yang ada dalam produk. *Item* yang terdapat pada daftar harus dapat memenuhi fungsi pada produk yang dirancang.
- ii. Membuat daftar sarana yang dapat digunakan pada setiap fitur atau fungsi.
- iii. Mengidentifikasi kombinasi sub solusi yang memungkinkan.

f. Evaluasi Alternatif

Evaluasi Alternatif dilakukan untuk membandingkan alternatif rancangan dengan pemberian bobot sehingga diperoleh rancangan terbaik. Metode yang digunakan adalah *Weighted Objective*. Tahapan metode *Weighted Objective* adalah:

- i. Membuat daftar tujuan perancangan. Dalam proses evaluasi diperlukan kriteria berdasarkan tujuan perancangan yang telah ditentukan.
- ii. Mengurutkan daftar tujuan perancangan. Pengurutan dapat dilakukan dengan *pair-wise comparisons*.
- iii. Menentukan bobot pada tujuan.
- iv. Menetapkan parameter performansi atau skor utilitas pada setiap tujuan.
- v. Membandingkan nilai utilitas alternatif rancangan. Jumlah hasil kali skor dengan bobot yang memiliki nilai terbesar adalah alternatif solusi terbaik.

g. Penyempurnaan Rancangan

Penyempurnaan rancangan dilakukan untuk meningkatkan nilai produk bagi konsumen dan mengurangi biaya produksi bagi produsen. Metode yang digunakan adalah *Value Engineering*. Tahapan metode tersebut adalah:

- i. Membuat daftar komponen produk dan mengidentifikasi fungsi setiap komponen.
- ii. Menentukan nilai dari fungsi yang telah diidentifikasi.
- iii. Menentukan harga dari setiap komponen yang siap dirakit.

- iv. Menentukan cara agar dapat mengurangi biaya dengan tidak menurunkan nilai, meningkatkan nilai dengan tidak menggunakan tambahan biaya.
- v. Mengevaluasi alternatif serta menentukan perbaikan terhadap rancangan.

2.2.6. Pengetahuan Bahan

a. Kayu

Yunianti & Muin (2009) mendefinisikan kayu sebagai bahan yang dapat digunakan untuk memproduksi berbagai macam produk sesuai keperluan dalam berbagai bidang. Karakteristik sifat dasar kayu sangat menentukan kualitas produk yang dihasilkan (Pandit dkk, 2011). Menurut Idris dkk (2008), sifat mekanis kayu dapat digunakan untuk menentukan kegunaan suatu jenis kayu. Idris dkk (2008) mengklasifikasikan kuat kayu ke dalam lima kelas kuat pada Tabel 2.4. Tingkat keawetan kayu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Kelas Kuat Kayu

Kelas Kuat	Berat Jenis	Keteguhan Lentur Maksimum (Kg/cm ²)	Keteguhan Tekan Maksimum (Kg/cm ²)
I	> 0.90	> 1100	> 650
II	0.60 – 0.90	725 – 1100	425 – 650
III	0.40 – 0.60	500 – 725	300 – 425
IV	0.30 – 0.40	360 – 500	215 – 300
V	< 0.30	< 360	< 215

Tabel 2.5. Kelas Awet Kayu

Kelas Awet	I	II	III	IV	V
Berhubungan dengan tanah lembab	8 Tahun	5 Tahun	3 Tahun	Sangat Pendek	Sangat Pendek
Terbuka, terlindung dari air	20 Tahun	15 Tahun	10 Tahun	Beberapa Tahun	Sangat Pendek
Terlindung dari udara, tidak dilapisi	Tak terbatas	Tak terbatas	Sangat Lama	Beberapa Tahun	Sangat Pendek
Terlindung dari udara, dilapisi	Tak terbatas	Tak terbatas	Tak terbatas	20 Tahun	20 Tahun
Serangan rayap	Tidak	Jarang	Agak Cepat	Sangat Cepat	Sangat Cepat

i. Kayu Mahoni

Kayu mahoni memiliki warna coklat muda kemerah-merahan atau kekuning-kunungan hingga coklat tua kemerah-merahan. Kayu mahoni memiliki tekstur kayu yang agak halus dengan arah serat yang berpadu dan kadang bergelombang. Permukaan kayu mahoni agak licin dan mengkilap. Kayu mahoni dapat digunakan untuk mebel dan barang kerajinan. Sifat kayu mahoni terdapat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Spesifikasi Kayu Mahoni

Berat Jenis	0.64 (0.56-0.72)
Kelas Kuat	II-III
Kelas Awet	III
Tegangan pada Batas Proporsi	379 kg/cm ²
Tegangan pada Batas Patah	557 kg/cm ²
Modulus Elastisitas	97.500 kg/cm ²
Kekerasan Ujung	392 kg/cm ²
Kekerasan Sisi	392 kg/cm ²

ii. Kayu Meranti Kuning

Kayu meranti kuning memiliki warna kuning muda atau coklat muda. Kayu meranti kuning memiliki tekstur yang agak kasar dengan arah serat yang berpadu. Kayu meranti kuning dapat digunakan untuk membuat lantai, mebel dan kayu lapis. Tabel 2.7. menunjukkan sifat kayu meranti kuning.

Tabel 2.7. Spesifikasi Kayu Meranti Kuning

Berat Jenis	0,66 (0,44-0,86)
Kelas Kuat	II-III
Kelas Awet	III-IV
Tegangan pada Batas Proporsi	658 kg/cm ²
Tegangan pada Batas Patah	1.037 kg/cm ²
Modulus Elastisitas	129.000 kg/cm ²
Kekerasan Ujung	440 kg/cm ²
Kekerasan Sisi	393 kg/cm ²

iii. Kayu Sengon

Kayu sengon memiliki warna hampir putih atau coklat muda. Kayu sengon memiliki tekstur yang agak kasar dengan arah serat lurus, bergelombang atau berpadu. Permukaan kayu sengon licin dan mengkilap. Kayu sengon dapat digunakan untuk bahan pembuat struktur rumah seperti papan, balok, tiang dan sebagainya. Sifat kayu sengon terdapat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Spesifikasi Kayu Sengon

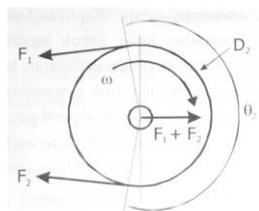
Berat Jenis	0.33 (0.24-0.49)
Kelas Kuat	IV-V
Kelas Awet	IV-V
Tegangan pada Batas Proporsi	316 kg/cm ²
Tegangan pada Batas Patah	526 kg/cm ²
Modulus Elastisitas	44.500 kg/cm ²
Kekerasan Ujung	222 kg/cm ²
Kekerasan Sisi	119 kg/cm ²

2.2.7. Elemen Mesin

Sebuah mesin tersusun dari beberapa elemen mesin yang saling mempengaruhi satu sama lainnya. Elemen mesin menurut Sonawan (2014) adalah:

a. Poros

Poros adalah elemen mesin yang memiliki bentuk silinder pejal. Fungsi poros adalah sebagai tempat elemen lain seperti *pulley* dan roda gigi serta sebagai elemen penerus daya dan putaran dari mesin penggerak. Variabel penting yang berkaitan dengan poros adalah dimensi (diameter dan panjang), bentuk (diameter seragam atau variasi) dan material poros. Poros dimana *pulley* terpasang akan mendapatkan beban dari gaya-gaya sabuk yaitu gaya F_1 dan F_2 . Gaya yang pada sabuk dapat dilihat pada Gambar 2.5. Perhitungan torsi dan daya pada poros terdapat pada persamaan (2.1) dan persamaan (2.2).



Gambar 2.5. Gaya-gaya pada Sabuk

$$T = \frac{(F_1 - F_2) \cdot D}{2} \quad (2.1)$$

$$P = T \cdot \omega = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60} \quad (2.2)$$

T = Torsi

P = Daya

D = Diameter

n = RPM

b. Bantalan

Bantalan (*bearing*) berfungsi untuk menahan beban pada saat dua elemen mesin saling bergerak. Jenis beban yang dapat ditahan adalah beban radial, aksial atau gabungan keduanya. Pemilihan bantalan disesuaikan dengan diameter poros dan beban yang ada di poros.

c. Transmisi *Pulley*

Transmisi *pulley* digunakan untuk menghubungkan bagian penggerak dan bagian yang digerakkan. Jenis sabuk dalam transmisi pulley adalah sabuk datar, sabuk v klasik, sabuk v bajik, *timing belt* dan sabuk v jamak. Diameter pulley penggerak dan yang digerakkan disimbolkan dengan D_1 dan D_2 . Sabuk v membelit pulley penggerak dan yang digerakkan dengan kecepatan tertentu. Jika diasumsikan tidak terjadi selip maka perhitungannya dilakukan dengan persamaan (2.3).

$$D_1 \times n_1 = D_2 \times n_2 \quad (2.3)$$

2.2.8. Uji Statistik

Pengolahan data dengan uji statistik digunakan pada data yang diperoleh dalam penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software Minitab*. Pengolahan data dalam penelitian ini adalah uji keseragaman, uji kecukupan, uji kenormalan data dan uji *independent sample t-test*.

a. Uji Kenormalan Data

Uji kenormalan data bertujuan untuk mengetahui data yang digunakan terdistribusi normal sehingga dapat digunakan dalam statistik parametrik. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menguji kenormalan data seperti metode *Pearson Chi-square test*, *Kolmogorov-Smirnov test*, *Cramer-von Mises test*, dan *Anderson-Darling test*. Metode *Anderson-Darling* dan

Kolmogorov-Smirnov terdapat pada *software Minitab* sehingga penggunaannya menjadi lebih mudah. Menurut Wahjudi (2007), metode *Anderson-Darling* memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan ketiga metode lainnya.

b. Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data dilakukan agar dapat diketahui dengan pasti bahwa data yang digunakan dalam penelitian seragam serta berada dalam batas kendali. Tahapan pada uji keseragaman data adalah sebagai berikut:

- i. Menghitung jumlah *sub group*

Jumlah *sub group* ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$k = 1 + 3.3 \log N \quad (2.4)$$

Definisi simbol:

k = banyaknya *sub group*

N = jumlah data

- ii. Mengelompokkan data pada setiap *sub group*

- iii. Mencari nilai rata-rata setiap *sub group*

Nilai rata-rata setiap *sub group* ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.5).

$$\bar{X}_k = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.5)$$

Definisi simbol:

\bar{X}_k = rata-rata *sub group* ke- k

X_i = data

n = jumlah data setiap *sub group*

- iv. Mencari nilai rata-rata dari rata-rata *sub group*

Nilai rata-rata dari rata-rata *sub group* ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_k}{k} \quad (2.6)$$

Definisi simbol:

$\bar{\bar{X}}$ = rata-rata dari rata-rata *sub group*

$\sum \bar{X}_k$ = jumlah rata-rata *sub group*

k = jumlah *sub group*

- v. Menghitung standar deviasi data

Nilai standar deviasi data ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.7).

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2.7)$$

Definisi simbol:

S = standar deviasi

N = jumlah data

\bar{X} = rata-rata dari rata-rata *sub group*

X_i = data pengamatan

vi. Mencari nilai standar deviasi distribusi harga rata-rata *sub group*

Nilai standar deviasi distribusi harga rata-rata *sub group* ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.8).

$$S_{\bar{X}_k} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

Definisi simbol:

$S_{\bar{X}_k}$ = standar deviasi harga rata-rata *sub group*

S = standar deviasi data

n = jumlah data setiap *sub group*

vii. Mencari nilai batas kendali

Nilai batas kendali atas ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.9) sedangkan nilai batas kendali bawah ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.10).

$$BKA = \bar{X} + k S_{\bar{X}_k} \quad (2.9)$$

$$BKB = \bar{X} - k S_{\bar{X}_k} \quad (2.10)$$

Definisi simbol:

BKA = Batas Kendali Atas

BKB = Batas Kendali Bawah

k = konstanta tingkat keyakinan

$S_{\bar{X}_k}$ = standar deviasi dari harga rata-rata *sub group*

c. Uji Kecukupan Data

Data dalam penelitian cukup atau belum dapat diketahui dari uji kecukupan data. Data dapat dikatakan cukup jika nilai $N' < N$. Apabila data belum cukup, dapat dilakukan pencarian data kembali. Nilai N' dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.11).

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad (2.11)$$

Definisi simbol:

N' = hitungan jumlah data

k = konstanta tingkat keyakinan

s = tingkat ketelitian

X_i = data pengamatan

d. Uji *Independent Sample t-test*

Pengujian tersebut digunakan agar dapat mengetahui perbandingan dari data sebelum dan setelah perbaikan. Persyaratan data yang dapat diuji dengan metode tersebut adalah data terdistribusi normal dan kedua kelompok data saling independen. Apabila nilai *P-value* kurang dari α berarti kedua kelompok data memiliki perbedaan yang cukup signifikan.