

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Ergonomi**

Ergonomi atau *Ergonomics* sebenarnya berasal dari kata Yunani yaitu Ergo yang berarti kerja dan Nomos yang berarti aturan atau hukum. Ergonomi mempunyai berbagai batasan arti, di Indonesia disepakati bahwa ergonomi adalah ilmu serta penerapannya yang berusaha untuk menyetarakan pekerjaan dan lingkungan terhadap orang atau sebaliknya dengan tujuan tercapainya produktivitas dan efisiensi yang setinggi-tingginya melalui pemanfaatan manusia seoptimal mungkin. Ergonomi juga dapat didefinisikan sebagai ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyeimbangkan antara fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan manusia baik fisik maupun mental sehingga kualitas hidup secara keseluruhan menjadi lebih baik dan optimal. Jadi tujuan penerapan ilmu ergonomi adalah untuk mengoptimalkan kualitas hidup manusia baik dalam lingkungan kerja, sosial maupun keluarga (Suhardi, 2008).

Penerapan ergonomi pada berbagai bidang pekerja merupakan suatu keharusan, hal ini didasari oleh penelitian yang menunjukkan bahwa setiap aktifitas atau pekerjaan yang dilakukan, apabila tidak dilakukan secara ergonomis akan mengakibatkan ketidaknyamanan, biaya tinggi kecelakaan dan penyakit akibat kerja meningkat, performa kerja menurun, sehingga berakibat kepada penurunan efisiensi dan daya kerja (Sabila, dkk, 2018).

Ergonomi dapat berperan pula sebagai desain pekerjaan pada suatu organisasi, misalnya: penentuan jumlah jam istirahat, pemilihan jadwal pergantian waktu kerja (*shift* kerja), meningkatkan variasi pekerjaan dan lain-lain. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (disain) ataupun rancang ulang yang disesuaikan dengan kemajuan teknologi dan juga *anatomy, psysiology, industrial medicine*. Pendekatan khusus dalam disiplin ergonomi ialah aplikasi sistematis dari segala informasi yang relevan yang berkaitan dengan karakteristik dan perilaku manusia dalam perancangan peralatan, fasilitas dan

lingkungan kerja yang dipakai. Analisis dan penelitian ergonomi meliputi hal-hal yang berkaitan, yaitu (Suhardi, 2008):

- a. Anatomi (struktur), fisiologi (bekerjanya), dan antropometri (ukuran) tubuh manusia.
- b. Psikologi yang fisiologis mengenai berfungsinya otak dan sistem syaraf yang berperan dalam tingkah laku manusia.
- c. Kondisi-kondisi kerja yang dapat mencederai baik dalam waktu yang pendek maupun panjang ataupun membuat celaka manusia dan sebaliknya kondisi-kondisi kerja yang membuat nyaman kerja manusia.

Memperhatikan hal-hal tersebut maka penelitian dan pengembangan ergonomi akan memerlukan dukungan dari berbagai disiplin ilmu seperti psikologi, antropometri, anatomi anthropologi, faal, dan teknologi.

Tujuan dari disiplin ilmu ergonomi adalah mendapatkan suatu pengetahuan tentang permasalahan interaksi manusia dengan teknologi dan produk-produknya, sehingga dimungkinkan adanya suatu rancangan sistem manusia yang optimal. Disiplin ilmu ergonomi melihat permasalahan interaksi tersebut sebagai suatu sistem dengan pemecahan-pemecahan masalahnya melalui proses pendekatan sistem pula (Wignjosoebroto, 2008).

## **2.2 Biomekanika**

Biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan mekanika teknik untuk mendeskripsikan gerakan pada bagian tubuh (kinematik) dan memahami efek gaya dan momem yang terjadi pada tubuh. Biomekanika juga merupakan keilmuan yang mengkombinasikan hukum-hukum fisika dan konsep-konsep teknik dengan pengetahuan dari keilmuan biologi dan perilaku manusia (Iridiastadi dan Yassierli, 2014).

Aplikasi keilmuan biomekanika sangat luas. Pengetahuan tentang kemampuan dan keterbatasan sistem otot-rangka manusia dalam bergerak dan bekerja dibutuhkan sebagai dasar pertimbangan dalam perancangan alat dan tempat kerja. Biomekanika kerja merupakan keilmuan biomekanika yang mempelajari interaksi fisik antara pekerja dan peralatan, mesin, dan material untuk

meminimalkan resiko gangguan pada sistem otot-rangka yang terkait dengan kerja. Terdapat dua mekanisme gangguan yang mungkin timbul pada sistem otot-rangka (Iridiastadi dan Yassierli, 2014).

1. Gangguan yang diakibatkan oleh pembebanan atau tekanan tiba-tiba pada tubuh atau anggota tubuh. Dampak yang terjadi pada sistem otot-rangka berupa cedera patah tulang, kerusakan sendi dan lain-lain.
2. Gangguan yang berhubungan dengan pembebanan terus menerus dan bersifat akumulatif dalam jangka panjang yang menyebabkan kelainan pada sistem otot rangka.

Dengan demikian gerak tubuh merupakan sebuah sistem biologis yang dapat diakui sebagai hasil interaksi sistem biologis dengan lingkungan sekelilingnya. Interaksi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya (Nurmianto, 2008):

1. Struktur dari lingkungan (bentuk dan stabilitas).
2. Medan dari gaya (arah relatif terhadap gravitasi, kecepatan gerakan).
3. Struktur dari sistem (susunan tulang, aktifitas otot, susunan segmen dari tubuh, ukuran, integrasi *motoric* yang dibutuhkan untuk mendukung postur).
4. Peranan dari keadaan psikologis (level keaktifan, motivasi).
5. Bentuk gerakan yang akan dikerjakan (kerangka dan organisasi gerakan).

Biomekanika juga mengkaji hubungan pekerja dengan perlengkapan kerja dengan lingkungan kerja dan sebagainya. Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi. Biomekanika menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh makhluk hidup. Selain itu untuk meningkatkan suatu sistem kerja melalui minimasi kemungkinan terjadinya cedera pada saat melakukan kerja. Biomekanika menggunakan hukum-hukum mengenai konsep fisik dan teknik menggambarkan gerakan yang dialami oleh bagian-bagian tubuh yang beragam dan aksi gaya pada bagian-bagian tubuh tersebut selama melakukan aktifitas harian. Dilihat dari definisi tersebut, biomekanika adalah aktifitas *multidisipliner* (Nurmianto, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi biomekanika yaitu (Nurmianto, 2008):

1. Keacakan *random*. Walaupun telah terdapat dalam satu kelompok populasi yang sudah jelas sama jenis kelamin, suku atau bangsa, kelompok usia dan pekerjaannya, namun sudah masih akan ada perbedaan yang cukup signifikan antara berbagai macam masyarakat.
2. Jenis kelamin. Ada perbedaan signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan signifikan di antara mean dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan. Pria dianggap lebih panjang dimensi segmen badanya daripada wanita sehingga data antropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.
3. Suku bangsa. Variasi di antara beberapa kelompok suku bangsa telah menjadi hal yang tidak kalah pentingnya karena meningkatnya jumlah angka migrasi dari satu negara ke negara lain.
4. Usia. Digolongkan atas berbagai kelompok usia yaitu:
  - a. Balita,
  - b. Anak-anak,
  - c. Remaja,
  - d. Dewasa dan lanjut usiaHal ini jelas berpengaruh terutama jika desain diaplikasikan untuk antropometri anak-anak. Antropometrinya cenderung terus meningkat sampai batas usia dewasa. Namun setelah menginjak usia dewasa, tinggi badan manusia mempunyai kecenderungan menurun yang disebabkan oleh berkurangnya elastisitas tulang belakang (*intervertebral discs*) dan berkurangnya dinamika gerakan tangan dan kaki.
5. Jenis pekerjaan. Beberapa jenis pekerjaan tertentu menuntut adanya persyaratan dalam seleksi karyawannya, misalnya: buruh dermaga harus mempunyai postur tubuh yang relatif lebih besar dibandingkan dengan karyawan perkantoran pada umumnya. Apalagi jika dibandingkan dengan jenis pekerjaan militer.
6. Pakaian. Hal ini juga merupakan sumber keragaman karena disebabkan oleh bervariasinya iklim atau musim yang berbeda dari satu tempat ke tempat yang

lainnya terutama untuk daerah dengan empat musim. Misalnya pada waktu musim dingin manusia akan memakai pakaian yang relatif lebih tebal dan ukuran yang *relative* lebih besar. Ataupun untuk para pekerja di pertambangan, pengeboran lepas pantai, pengecoran logam. Bahkan para penerbang dan astronout pun harus mempunyai pakaian khusus.

7. Faktor kehamilan pada wanita. Faktor ini sudah jelas mempunyai pengaruh perbedaan yang berarti kalau dibandingkan dengan wanita yang tidak hamil, terutama yang berkaitan dengan analisis perancangan produk dan analisis perancangan kerja.
8. Cacat tubuh secara fisik. Suatu perkembangan yang menggembirakan pada dekade terakhir yaitu dengan diberikannya skala prioritas pada rancang bangun fasilitas akomodasi untuk para penderita cacat tubuh secara fisik sehingga mereka dapat ikut serta merasakan “kesamaan” dalam penggunaan jasa dari hasil ilmu ergonomi di dalam pelayanan untuk masyarakat. Masalah yang sering timbul misalnya: keterbatasan jarak jangkauan, dibutuhkan ruang kaki (*knee space*) untuk desain meja kerja, lorong atau jalur khusus untuk kursi roda, ruang khusus di dalam *lavatory*, jalur khusus untuk keluar masuk perkantoran, kampus, hotel, restoran, supermarket dan lain-lain.

Pendekatan biomekanika menitik beratkan pada struktur tulang dan posisi pengangkatan, dimana struktur tulang terutama tulang belakang akan mengalami tekanan yang berlebihan ketika melakukan pengangkatan meskipun frekuensi jarang. Pendekatan biomekanika memandang tubuh manusia sebagai suatu *system* yang terdiri dari elemen-elemen yang saling berkait dan terhubung satu sama lain, melalui sendi-sendi dan jaringan otot yang ada (Nurmianto, 2008).

### **2.3 Musculoskeletal Disorders (MSDs)**

Keluhan *musculoskeletal* adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan hingga kerusakan inilah yang biasanya diistilahkan dengan

keluhan *musculoskeletal disorders* (MSDs) atau cedera pada sistem muskuloskeletal. Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua, (Tarwaka, 2004) yaitu :

1. Keluhan sementara (*reversible*), yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan, dan
2. Keluhan menetap (*persistent*), yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus berlanjut.

Studi tentang MSDs pada berbagai jenis industri telah banyak dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa bagian otot yang sering dikeluhkan adalah otot rangka (skeletal) yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot-otot bagian bawah. Di antara keluhan otot skeletal tersebut, yang banyak dialami oleh pekerja adalah otot bagian pinggang (*low back pain=LBP*) (Tarwaka, 2004).

Keluhan otot skeletal pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Sebaliknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15 - 20% dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20 %, maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot (Tarwaka, 2004).

Ada beberapa cara yang telah diperkenalkan dalam melakukan evaluasi ergonomi untuk mengetahui hubungan antara tekanan fisik dengan resiko keluhan otot skeletal. Pengukuran terhadap tekanan fisik ini cukup sulit karena melibatkan berbagai faktor subjektif seperti kinerja, motivasi, harapan dan toleransi kelelahan. Salah satu alat ukur ergonomik sederhana yang dapat digunakan untuk mengenali sumber penyebab keluhan muskuloskeletal adalah *nordic body map*. Melalui *nordic body map* dapat diketahui bagian-bagian otot yang mengalami keluhan dengan

tingkat keluhan mulai dari rasa tidak nyaman (agak sakit) sampai sangat sakit (Suhardi, 2008).

#### **2.4 *Nordic Body Map* (NBM)**

*Nordic Body Map* (NBM) merupakan metode yang digunakan untuk menilai tingkat keparahan (*severity*) atas terjadinya gangguan atau cedera pada otot-otot skeletal. Metode NBM merupakan metode penilaian yang sangat subjektif, artinya keberhasilan aplikasi metode ini sangat tergantung dari situasi dan kondisi yang dialami pekerja pada saat dilakukan penilaian. Namun metode ini telah digunakan secara luas oleh para ahli ergonomi untuk menilai tingkat keparahan gangguan pada sistim muskuloskeletal yang mempunyai validasi dan rehabilitas yang baik (Tarwaka 2004).

Kuesioner ini digunakan untuk mengetahui ketidaknyamanan pada para pekerja, kuesioner ini paling sering digunakan karena sudah terstandarisasi dan tersusun rapi. Kuesioner ini menggunakan gambar tubuh manusia yang sudah dibagi beberapa bagian yaitu leher, bahu, punggung bagian atas, siku, punggung bagian bawah, pergelangan tangan, pinggang atau pantat, lutut, tumit, kaki. Dengan melihat dan menganalisis peta tubuh maka dapat diestimasi jenis dan tingkat keluhan otot skeletal yang dirasakan oleh pekerja. Untuk menekan bias yang mungkin terjadi, maka sebaiknya pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah melakukan aktivitas kerja (*pre and post test*). Untuk lebih meningkatkan ketelitian fakta biasanya *nordic body map* disandingkan dengan beberapa metode pengukuran, diantaranya yaitu uji kualitas dan kuantitas dari hasil kerja, *electroencephalography*, pengukuran frekuensi kedipan mata, tes psikomotorik, tes mental dan fisiologi (Sukania, dkk., 2013).

kuesioner *Nordic Body Map* terhadap segmen-segmen tubuh ditampilkan pada gambar 2.1 berikut ini.

Gambar 2.1 *Nordic Body Map*  
(Sumber: Tarwaka, 2004)

1 = Leher bagian atas	16 = Tangan kiri
2 = Bahu kiri	17 = Tangan kanan
3 = Bahu kanan	18 = Paha kiri
4 = Lengan atas kiri	19 = Paha kanan
5 = Punggung	20 = Lutut kiri
6 = Lengan atas kanan	21 = Lutut kanan
7 = Pinggang	22 = Betis kiri
8 = Bokong	23 = Betis kanan
9 = Pantat	24 = Pergelangan kaki kiri
10 = Siku kiri	25 = Pergelangan kaki kanan
11 = Siku kanan	26 = Kaki kiri
12 = Lengan bawah kiri	27 = Kaki kanan
13 = Lengan bawah kanan	
14 = Pergelangan tangan kiri	
15 = Pergelangan tangan kanan	



## 2.5 Antropometri

Istilah antropometri berasal dari “anthro” yang berarti manusia dan “metri” yang berarti ukuran. Antropometri adalah pengetahuan yang menyangkut pengukuran tubuh manusia khususnya dimensi tubuh. Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam proses perancangan (*design*) produk maupun sistem kerja yang akan memerlukan interaksi manusia. Dimensi tubuh manusia untuk perancangan produk terdiri dari dua jenis, yaitu struktural dan fungsional. Dimensi tubuh struktural yaitu pengukuran tubuh manusia dalam keadaan tidak bergerak. Sedangkan dimensi tubuh fungsional adalah pengukuran tubuh manusia dalam keadaan bergerak (Suhardi, 2008).

Umumnya manusia berbeda dalam hal bentuk dan ukuran tubuh,. Beberapa faktor yang mempengaruhi ukuran tubuh manusia yaitu (Iridiastadi dan Yassierli, 2014).

1. Umur, dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar seiring dengan bertambahnya umur, yaitu sejak awal kelahirannya sampai dengan umur sekitar 20 tahun.
2. Jenis kelamin, jenis kelamin pria umumnya memiliki dimensi tubuh yang lebih besar kecuali dada dan pinggul.
3. Suku bangsa, dimensi tubuh suku bangsa negara barat lebih besar dari pada dimensi tubuh suku bangsa negara timur.
4. Posisi tubuh, sikap ataupun posisi tubuh berpengaruh terhadap ukuran tubuh, oleh karena itu posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran.

Posisi tubuh berpengaruh terhadap ukuran tubuh yang digunakan. Oleh karena itu, dalam antropometri dikenal dua cara pengukuran, yaitu:

1. Pengukuran dimensi struktur tubuh atau statis (*Structural body dimension*). Tubuh diukur dalam berbagai posisi standar dan tidak bergerak. Istilah lain untuk pengukuran ini dikenal dengan *static anthropometri*. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi atau panjang lutu berdiri maupun duduk, panjang lengan.

2. Pengukuran dimensi fungsional atau dinamis (*functional body dimension*). Pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat melakukan gerakan tertentu. Hal pokok yang ditekankan pada pengukuran dimensi fungsional tubuh ini adalah mendapatkan ukuran tubuh yang berkaitan dengan gerakan nyata yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu.

Data dari hasil pengukuran anthropometri tersebut digunakan sebagai data perancangan peralatan. Mengingat bahwa keadaan dan ciri fisik dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga berbeda satu sama lainnya.

Adapun uji statistik meliputi uji kenormalan data, uji keseragaman data, uji kecukupan data dan persentil adalah sebagai berikut:

1. Uji Normalitas Data

Banyak cara yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian normalitas sampel, salah satunya ialah dengan rumus  $chi\ square < chi$  tabel. Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah sampel yang digunakan berasal dari seluruh populasi yang berdistribusi normal, uji normalitas dilakukan dengan menggunakan uji kenormalan data digunakan untuk mengetahui apakah suatu data berdistribusi normal atau tidak. Untuk uji kenormalan data digunakan distribusi  $chi\ square$ . Distribusi  $chi\ square$  dapat dihitung melalui program *SPSS for windows* yang kemudian dibandingkan dengan  $chi$  tabel (tabel statistik). Jika  $chi\ square$  hitung  $< chi$  tabel, maka data tersebut terdistribusi normal dan apabila data  $chi\ square > chi$  tabel maka data tidak terdistribusi normal, sehingga dilakukan pengujian kembali.

Uji kenormalan data digunakan untuk melihat apakah data yang diperoleh merupakan data yang berdistribusi normal atau tidak. Untuk uji kenormalan ini digunakan *hipotesis* (Wignjosoebroto, 2008):

- a. H<sub>0</sub>: Data berdistribusi normal
- b. H<sub>1</sub>: Data tidak berdistribusi normal

2. Uji Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data dilakukan untuk mengetahui :

- a. Menghitung rata-rata keseluruhan

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad \dots(2.1)$$

Keterangan :

$\bar{X}$  = Rata-rata hitung (mean)

$X_i$  = Data

$n$  = Jumlah sampel

- b. Menghitung standar deviasi

$$\sigma = \frac{\sum \sqrt{(X_i - \bar{X})^2}}{n-1} \quad \dots(2.2)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = Rata-rata hitung (mean)

$X_i$  = Data

$n$  = Jumlah sampel

$\sigma$  = Standar deviasi

- c. Menghitung batas-batas kendali

Tentukan batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB) dengan formula sebagai berikut:

$$BKA = \bar{X} + Z.\sigma \quad \dots(2.3)$$

$$BKB = \bar{X} - Z.\sigma \quad \dots(2.4)$$

Keterangan:

$\sum X_i$  = Jumlah keseluruhan data

$n$  = Banyak data

BKA = Batas Kontrol Atas

BKB = Batas Kontrol Bawah

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

$\sigma$  = Standar deviasi

Z = besaran dari standar deviasi ( 1 untuk tingkat kepercayaan 68%,  
2 untuk tingkat 95%, 3 untuk tingkat kepercayaan 99%

### 3. Uji Kecukupan Data

#### a. Pengujian kecukupan data

$$N' = \left[ \frac{\beta/\alpha \sqrt{N \sum (X_i^2) - \sum (X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad \dots(2.5)$$

Keterangan:

Apabila  $N' < N$ , maka data dinyatakan cukup.

$N'$  = Jumlah data yang diperlukan

$N$  = jumlah data yang telah dilakukan

$\beta$  = tingkat kepercayaan

$\alpha$  = tingkat ketelitian

### 4. Persentil

Persentil adalah suatu nilai yang menyatakan prosentase tertentu dari sekelompok orang yang dimensinya sama atau lebih rendah dari nilai tersebut. Persentil ke-95 akan menunjukkan populasi 95% populasi berada pada atau dibawah ukuran tersebut, sedangkan persentil ke-5 akan menunjukkan 5% populasi berada pada atau diatas ukuran itu (Sumber: Wignjosoebroto, 2008).

## 2.6 Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam, di mana logam menjadi satu dengan atau tanpa tekanan. dan dapat di defenisikan sebagai ikatan metalurgi yang di timbulkan oleh gaya tarik-menarikantara atom. sebelum ato-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang akan menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida. Untuk arus AC (arus bolak-balik) apabila kabel + dan – terbalik tidak masalah tetapi untuk arus DC (arus searah) harus hati-hati tidak boleh terbalik dan ada perbedaan (Susanto, dkk., 2017).

Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO<sub>2</sub>), las busur

tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*) (Santoso, dkk., 2015).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja karbon rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur redam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja karbon rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Susanto dan Prasetyo, 2017).

Pengelasan dengan memanfaatkan busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja. Elektroda dipanaskan sampai cair dan diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las. Mula-mula elektroda kontak/bersinggungan dengan logam yang dilas sehingga terjadi aliran arus listrik, kemudian elektroda diangkat sedikit sehingga timbullah busur. Panas pada busur bisa mencapai 5.500 °C. Las busur bisa menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Mesin arus searah dapat mencapai kemampuan arus 1000 amper pada tegangan terbuka antara 40 sampai 95 Volt. Waktu pengelasan tegangan menjadi 18 sampai 40 Volt. Ada 2 jenis polaritas yang digunakan yaitu polaritas langsung dan polaritas terbalik. Pada polaritas langsung elektroda berhubungan dengan terminal negatif sedangkan pada polaritas terbalik elektroda berhubungan dengan terminal positif (Susanto, dkk., 2017).

## 2.7 Postur kerja

Pertimbangan ergonomi yang berkaitan dengan postur kerja dapat membantu mendapatkan postur kerja yang nyaman bagi pekerja, baik itu postur kerja berdiri, duduk, angkat maupun angkut. Beberapa jenis pekerjaan akan memerlukan postur kerja tertentu yang terkadang tidak menyenangkan. Kondisi kerja seperti ini memaksa pekerja selalu berada pada postur kerja yang tidak alami dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Hal ini, akan menyebabkan pekerja cepat lelah, adanya keluhan sakit pada bagian tubuh, cacat produk bahkan cacat tubuh.

Untuk menghindari postur kerja yang demikian, pertimbangan-pertimbangan ergonomis antara lain menyarankan hal-hal sebagai berikut (Mufti, dkk, 2013):

1. Mengurangi keharusan pekerja untuk bekerja dengan postur kerja yang membungkuk dengan frekuensi kegiatan yang sering atau dalam jangka waktu 6-8 jam per-hari. Untuk mengatasi hal ini, maka stasiun kerja harus dirancang terutama sekali dengan memperhatikan fasilitas kerja seperti : meja, kursi, dan lain-lain sesuai data antropometri agar pekerja dapat menjaga postur kerjanya tetap tegak dan normal. Ketentuan ini terutama sekali ditekankan bilamana pekerjaan harus dilaksanakan dengan postur berdiri.
2. Pekerja tidak seharusnya menggunakan jarak jangkauan maksimum. Pengaturan postur kerja dalam hal ini dilakukan dalam jarak jangkauan normal (konsep atau prinsip ekonomi gerakan). Disamping itu, pengaturan ini bisa memberikan postur kerja yang nyaman. Untuk hal-hal tertentu pekerja harus mampu dan cukup leluasa mengatur tubuhnya agar memperoleh postur kerja yang lebih leluasa dalam bergerak.
3. Pekerja tidak seharusnya duduk atau berdiri pada saat bekerja untuk waktu yang lama, dengan kepala, leher, dada, atau kaki berada dalam postur kerja miring.

4. Operator tidak seharusnya dipaksa bekerja dalam frekuensi atau periode waktu yang lama dengan tangan atau lengan berada dalam posisi di atas level siku yang normal.

Postur kerja merupakan posisi dimana tubuh pekerja ketika melaksanakan pekerjaannya di dalam stasiun kerja. Salah satu penyebab gangguan pada otot rangka (*musculoskeletal disorder*) adalah postur janggal (*awkward posture*) (Tannady dan Gunawan, 2017).

Postur janggal adalah posisi tubuh seorang pekerja atau operator yang menyimpang terhadap posisi normal saat melaksanakan pekerjaannya. Posisi janggal ketika melakukan suatu pekerjaan dapat meningkatkan jumlah energi dari tubuh pekerja. Akibatnya, posisi janggal ini mudah menimbulkan kelelahan bahkan cedera bagi operator atau pekerja. Hal yang termasuk dalam postur janggal adalah pekerjaan yang bersifat repetitif, berputar (*twist*), memiringkan badan, berlutut, jongkok, memegang dalam kondisi statis, dan menjepit dengan tangan dalam waktu yang lama. Postur ini melibatkan beberapa area tubuh seperti bahu, punggung, dan lutut, karena bagian tersebut yang paling sering mengalami cedera (Tannady dan Gunawan, 2017).

### **2.7.1 Sikap dan Posisi Kerja dalam Perancangan Stasiun Kerja**

Beberapa jenis pekerjaan akan memerlukan sikap dan posisi tertentu yang kadang-kadang cenderung untuk tidak mengenakan. Kondisi kerja seperti ini memaksa pekerja-pekerja selalu berada pada sikap dan posisi kerja yang aneh dan kadang-kadang juga harus berlangsung dalam waktu yang lama. Hal ini tentu saja akan mengakibatkan pekerja cepat lelah, membuat banyak kesalahan atau menderita cacat tubuh. Untuk menghindari sikap dan posisi kerja yang kurang favourable ini pertimbangan-pertimbangan ergonomic antara lain menyarankan hal-hal berikut (Mufti, dkk, 2013):

1. Mengurangi keharusan operator untuk bekerja dengan sikap dan posisi membungkuk dengan frekuensi kegiatan yang sering atau jangka waktu lama. Untuk mengatasi problema ini maka stasiun kerja harus dirancang, terutama sekali dengan memperlihatkan fasilitas kerjanya seperti meja

- kerja, kursi, dan lainlainnya yang sesuai dengan data anthropometri, agar operator dapat menjaga sikap dan posisi kerjanya dengan tegak dan normal.
2. Operator tidak seharusnya menggunakan jarak jangkauan maksimum yang bisa dilakukan. Pengaturan posisi kerja dalam hal ini dilakukan dalam jarak jangkauan normal. Disamping pengaturan ini bisa memberikan sikap dan posisi yang nyaman juga akan mempengaruhi aspek-aspek ekonomi gerakan.
  3. Operator tidak seharusnya duduk atau berdiri pada saat bekerja untuk waktu yang lama dengan kepala, leher, atau kaki berada dalam sikap atau posisi miring.
  4. Operator tidak seharusnya dipaksa bekerja dalam frekuensi atau periode waktu yang lama dengan tangan atau lengan berada pada posisi diatas level siku yang normal.

### **2.7.2 Faktor Resiko Sikap Kerja Terhadap Gangguan *Musculoskeletal***

Sikap kerja yang sering dilakukan oleh manusia dalam melakukan pekerjaan antara lain berdiri, duduk, membungkuk, jongkok, berjalan dan lain-lain. Sikap kerja tersebut dilakukan tergantung dari kondisi dalam sistem kerja yang ada. Jika kondisi sistem kerjanya yang tidak sehat akan menyebabkan kecelakaan kerja, karena pekerja melakukan pekerjaan yang tidak aman. Sikap kerja yang salah, canggung dan diluar kebiasaan akan menambah resiko cidera pada bagian *musculoskeletal* (Susihono dan Prasetyo, 2012).

#### **1. Sikap Kerja Berdiri**

Kestabilan tubuh ketika posisi berdiri dipengaruhi oleh posisi kedua kaki. Kaki yang sejajar lurus dengan jarak sesuai dengan tulang pinggul akan menjaga tubuh dari tergelincir. Selain itu perlu menjaga kelurusan antara anggota tubuh bagian atas dengan anggota tubuh bagian bawah. Sikap kerja berdiri memiliki beberapa permasalahan sistem muskuloskeletal. Posisi berdiri yang terlalu lama akan menyebabkan penggumpalan pembuluh darah vena, karena aliran darah berlawanan dengan gaya gravitasi. Kejadian ini bila terjadi pada pergelangan kaki dapat menyebabkan pembengkakan.



2. Sikap Kerja Duduk

Sikap kerja duduk pada kursi memerlukan sandaran punggung untuk menopang punggung. Sandaran yang baik adalah sandaran punggung yang bergerak maju-mundur untuk melindungi bagian lumbar. Sandaran tersebut juga memiliki tonjolan kedepan untuk menjaga ruang lumbar yang sedikit menekuk. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi tekanan pada bagian *invertebratal disk*.

3. Sikap Kerja Membungkuk

Salah satu sikap kerja yang tidak nyaman untuk diterapkan dalam pekerjaan adalah membungkuk. Posisi ini tidak menjaga kestabilan tubuh ketika bekerja. Pekerja mengalami keluhan rasa nyeri pada bagian punggung bagian bawah (*low back pain*) bila dilakukan secara berulang dan periode yang cukup lama. Pada saat membungkuk tulang punggung bergerak ke sisi depan tubuh. Otot bagian perut dan sisi depan *invertebratal disk* pada bagian lumbar mengalami penekanan. Pada bagian ligamen sisi belakang dari *invertebratal disk* justru mengalami peregangan atau pelenturan. Sikap kerja membungkuk dapat menyebabkan “*slipped disks*”, bila dibarengi dengan pengangkatan beban berlebih.

4. Membawa Beban

Terdapat perbedaan dalam menentukan beban normal yang dibawa oleh manusia. Hal ini dipengaruhi oleh frekuensi dari pekerjaan yang dilakukan. Faktor yang paling berpengaruh dari kegiatan membawa beban adalah jarak. Jarak yang ditempuh semakin jauh akan menurunkan batasan beban yang dibawa.

5. Kegiatan Mendorong Beban

Hal yang penting menyangkut kegiatan mendorong beban adalah tangan pendorong. Tinggi pegangan antara siku dan bahu selama mendorong beban dianjurkan dalam kegiatan ini. Hal ini dimaksudkan untuk menghasilkan tenaga maksimal untuk mendorong beban berat dan menghindari kecelakaan kerja bagian tangan dan bahu.

6. Menarik Beban

Kegiatan ini biasanya tidak dianjurkan sebagai metode pemindahan beban, karena beban sulit untuk dikendalikan dengan anggota tubuh. Beban dengan mudah akan tergelincir keluar dan melukai pekerjaanya. Kesulitan yang lain adalah pengawasan beban yang dipindahkan serta perbedaan jalur yang dilintasi. Menarik beban hanya dilakukan pada jarak yang pendek dan bila jarak yang ditempuh lebih jauh biasanya beban didorong ke depan.

**2.8 Penilaian Tingkat Risiko Ergonomi**

Mengukur ataupun menilai besarnya gangguan muskuloskeletal yang dialami pekerja dapat dilakukan dengan berbagai macam metode yang umum digunakan adalah OWAS (*Ovako Working Posture Analysis System*), RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), PATH (*Posture, Activity, Tools and Handling*), QEC (*Quick Exposure Check*), REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), LUBA (*Loading on the Upper Body Assessment*) dan BackEst (*Back Exposure Sampling Tool*).

Perbedaan dari metode diatas akan dipertimbangkan sesuai dengan kondisi perusahaan dan dapat dilihat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Faktor Resiko Dinilai Dengan Metode Penilaian yang Berbeda

Metode (Tahun Terbit Pertama)	Faktor Resiko					
	Postur	Pengerahan Tenaga	Pengulangan	Getaran	Kontak Penekanan	Durasi Tugas
<i>Ovako Working Posture Assessment System – OWAS</i> (1977)	×	×				
<i>Rapid Upper Limb Assessment- RULA</i> (1993)	×	×				
<i>Posture, Activity, Tools &amp; Handling- PATH</i> (1996)	×	×		×		
<i>Quick Exposure Check – QEC</i> (1999)	×	×	×			×
<i>Rapid Entire Body Assesment- REBA</i> (2000)	×	×				

(Sumber: Ma’rif dan Dahda., 2016)

Tabel 2.1 Faktor Resiko Dinilai Dengan Metode Penilaian yang Berbeda (Lanjutan)

Metode (Tahun Terbit Pertama)	Faktor Resiko					
	Postur	Pengerahan Tenaga	Pengulangan	Getaran	Kontak Penekanan	Durasi Tugas
<i>Postural Loading on the Upper Body Assessment-LUBA</i> (2001)	×					
<i>Back Exposure Sampling Tool-BackEst</i> (2009)	×	×		×		

(Sumber: Ma'rif dan Dahda., 2016)

Tabel 2.2 merupakan perbandingan metode penilaian terhadap resiko ergonomi berdasarkan reabilitas dan validitas penelitian.

Tabel 2.2 Reliabilitas dan Validitas Penelitian Metode Penilaian yang Berbeda

Metode (Tahun Terbit Pertama)	Properti Psikometri	
	Pengujian Reliabilitas	Pengujian Validitas
<i>Ovako Working Posture Assessment System – OWAS</i> (1977)	×	—
<i>Rapid Upper Limb Assessment- RULA</i> (1993)	×	×
<i>Posture, Activity, Tools &amp; Handling- PATH</i> (1996)	×	×
<i>Quick Exposure Check – QEC</i> (1999)	×	—
<i>Rapid Entire Body Assesment- REBA</i> (2000)	×	—
<i>Postural Loading on the Upper Body Assessment-LUBA</i> (2001)	—	×
<i>Back Exposure Sampling Tool- BackEst</i> (2009)	×	—

(Sumber: Ma'rif dan Dahda., 2016)

## 2.9 Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA)

*Rapid Upper Limb Assisment* (RULA) dikembangkan oleh Dr.Lynn Mc Atamney dan Dr. Nigel Corlett yang merupakan ergonomi dari universitas di *Nottingham (University of Nottingham's Institute of Osecupational Ergonomics)*. RULA adalah metode yang dikembangkan dalam bidang ergonomi yang menginvestigasi dan menilai posisi kerja yang dilakukan oleh tubuh bagian atas. Metode ini tidak membutuhkan piranti khusus dalam memberikan penilaian dalam postur leher, punggung dan tubuh bagian atas. Sejalan dengan fungsi otot dan beban eksternal yang ditopang oleh tubuh. Teknologi ergonomic tersebut mengevaluasi postur, kekuatan dan aktivitas otot yang menimbulkan cedera akibat aktivitas

berulang. RULA dikembangkan untuk mendeteksi postur kerja yang beresiko dan melakukan perbaikan sesegera mungkin (Wijaya dan Muhsin, 2018).

Tabel 2.3 Kategori *Action Level* Metode RULA

Kategori	Aksi
1	Bisa diterima jika tidak berulang dan periode lama.
2	Perlu pemeriksaan lanjutan dan perubahan-perubahan.
3	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan segera .
4	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan sangat segera.

(Sumber : Wignjosoebroto, 2008)

Metode RULA sangat efektif untuk mengidentifikasi aktivitas MMH, khususnya aktivitas yang banyak melibatkan anggota tubuh bagian atas. Metode ini telah diaplikasikan pada postur pekerja konveksi. Dan telah diterapkan untuk menganalisis postur pekerja patung primitif di Kasongan, Jogjakarta. Analisis dilakukan di 6 stasiun kerja dan postur berbahaya dominan terjadi di stasiun kerja *finishing* dan pemindahan material (Wignjosoebroto, 2008).

## 2.10 Analisis Metode LUBA (*Loading on the Upper Body Assessment*)

*Loading on the Upper Body Assessment* (LUBA) adalah metode pemberian kode postur tubuh duduk atau berdiri dengan memberikan bobot tambahan untuk postur yang sesuai dengan hasil percobaan dari kondisi ketidaknyamanan yang dirasakan oleh sendi dari individu, *Loading on the Upper Limb Assesment* merupakan suatu teknik untuk pembebanan postural pada penilaian atas tubuh. Metode yang diusulkan didasarkan pada data percobaan baru untuk indeks komposit ketidaknyamanan yang dirasakan untuk satu set gerakan bersama, termasuk tangan, lengan, leher, dan punggung, dan saat-saat memegang maksimum sesuai postur statis (Sabila, dkk, 2018).

Adapun langkah-langkah untuk menerapkan skema klasifikasi postural terdiri dari 5 langkah yaitu (Beheshti, 2015):

1. Merakam postur kerja operator selama beberapa siklus kerja.
2. Memilih postur kerja yang telah direkam untuk dilakukan penilaian berdasarkan postur yang mungkin menimbulkan tekanan.

3. Memberikan skor ketidaknyamanan relatif sesuai dengan skema klasifikasi postural pada masing-masing gerak sendi yang diamati berdasarkan postur yang dipilih. Berikut ini contoh checklist yang digunakan untuk mempermudah dan mempercepat dalam melakukan analisis postur dalam mengklasifikasikan postur kerja.

Tabel 2.4 Postur Klarifikasi Pergelangan Tangan

Postur dan skor ketidaknyamanan sendi	Posisi duduk		Posisi berdiri	
	Kelas	Skor ketidaknyamanan	kelas	Skor ketidaknyamanan
Flexion	0-20°	1	0-20°	1
	20-60°	2	20-60°	2
	>60°	5	>60°	5
Extension	0-20°	1	0-20°	1
	20-45°	2	20-45°	2
	>45°	7	>45°	7
Radial deviation	0-10°	1	0-10°	1
	10-30°	3	10-30°	3
	>30°	7	>30°	7
Ulnar deviation	0-10°	1	0-10°	1
	10-20°	3	10-20°	3
	>20°	6	>20°	6

(Sumber: Kee dan Karwowski, 2001)

4. Menghitung nilai indeks beban postural yang diperoleh dari hasil penjumlahan nilai atau skor ketidaknyamanan relatif pada masing-masing gerak sendi.
5. Mengevaluasi postur berdasarkan hasil dari indeks beban postural menggunakan 4 kriteria kategori tindakan yaitu
  - a. Kategori I : postur dengan indeks beban postural 5 atau kurang  
Artinya : postur tubuh baik dan tidak perlu dilakukan perbaikan penanganan segera
  - b. Kategori II : postur dengan indeks beban postural 5 sampai 10  
Artinya : memerlukan penyelidikan lebih lanjut dan perubahan korektif tetapi tidak diperlukan
  - c. Kategori III : postur dengan indeks beban postural 10 sampai 15

Artinya: memerlukan tindakan korektif dengan mendesain ulang tempat kerja atau metode kerja dengan segera

d. Kategori IV : postur dengan indeks beban postural 15 atau lebih.

Artinya: memerlukan pertimbangan segera dan tindakan korektif perbaikan segera

Contoh lembar ceklist pada postur kerja LUBA (*Loading on the Upper Body*

*Assessment*)

Tabel 2.5 Lembar Ceklist Penilaian Metode LUBA

<i>Joint</i>	<i>Motion</i>	<i>Class</i>	<i>Score</i>	<i>Motion</i>	<i>Class</i>	<i>Score</i>
<i>Wrist</i>	<i>Flexion</i>	0-20°	1	<i>Extension</i>	0-20°	1
		20-60°	4		20-45°	5
		>60°	9		>45°	11
	<i>Radial Deviation</i>	0-10°	1	<i>Ulnar Deviation</i>	0-10°	1
		10-30°	5		10-20°	5
		>30°	10		>20°	9
<i>Elbow</i>	<i>Flexion</i>	0-45°	1	<i>Supination</i>	0-90°	3
		45-120°	3			
		>120°	7			
	<i>Pronation Deviation</i>	0-70°	3		>90°	9
		>70°	9			
<i>Shoulder</i>	<i>Flexion</i>	0-45°	1	<i>Extension</i>	0-20°	1
		45-90°	5		20-45°	7
		90-150°	9		45-60°	12
		>150°	14		>60°	16
	<i>Adduction</i>	0-10°	1		<i>Abduction</i>	0-30°
		10-30°	4	30-90°		6
		>30°	11	>90°		13
	<i>Medial rotation</i>	0-30°	1	<i>Lateral rotation</i>	0-10°	1
		30-90°	4		10-30°	5
		>90°	10		>30°	10
	<i>Neck</i>	<i>Flexion</i>	0-20°	1	<i>Extension</i>	0-30°
20-45°			5	30-60°		9
>45°			8	>60°		15
<i>Lateral Bending</i>		0-30°	1	<i>Rotation</i>	0-30°	1
		30-45°	5		30-60°	4
		>45°	13		>60°	11
<i>Back</i>	<i>Flexion</i>	0-20°	1	<i>Extension</i>	<i>Not included</i>	
		20-60°	6			
		>60°	13			
	<i>Lateral bending</i>	0-10°	1	<i>Rotation</i>	0-20°	1
		10-20°	5		20-30°	3
		20-30°	12		30-45°	7
		>30°	16		>45°	14

(Sumber: Kee dan Karwowski, 2001)