

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penyakit akibat kerja**

Penyakit akibat kerja adalah penyakit yang disebabkan oleh pekerjaan yang disebabkan oleh pekerjaan, alat kerja, bahan, proses maupun lingkungan kerja. Dengan demikian penyakit akibat kerja merupakan penyakit yang artifisial atau *man made disease*.

Pada simposium internasional mengenai penyakit akibat hubungan pekerjaan yang diselenggarakan oleh International Labour Organization (ILO) tahun 1998 di Linz Austria, dihasilkan definisi menyangkut penyakit akibat kerja sebagai berikut :

1. Penyakit akibat kerja

Adalah penyakit yang mempunyai penyebab yang spesifik atau asosiasi yang kuat dengan pekerjaan, yang pada umumnya terdiri dari satu agen penyebab yang sudah diakui.

2. Penyakit yang berhubungan dengan pekerjaan

Adalah penyakit yang mempunyai beberapa agen penyebab, dimana faktor pekerjaan memegang peranan bersama dengan faktor risiko lainnya dalam berkembangnya penyakit yang mempunyai etiologi kompleks.

3. Penyakit populasi kerja

Adalah penyakit yang terjadi pada populasi pekerja tanpa adanya agen penyebab di tempat kerja, namun demikian dapat diperberat oleh kondisi pekerjaan yang buruk bagi kesehatan.

Terdapat beberapa penyebab penyakit akibat kerja yang umum terjadi di tempat kerja. Berikut beberapa jenis penyakit akibat kerja yang digolongkan berdasarkan penyebab penyakit yang ada di tempat kerja ([www.surabayahealth.org](http://www.surabayahealth.org)) :

1. Golongan fisik: bising, radiasi, suhu ekstrim, tekanan udara, vibrasi dan penerangan
2. Golongan kimiawi: semua bahan kimia dalam bentuk debu, uap, gas, larutan dan kabut.
3. Golongan biologi: bakteri, virus, jamur dan lain-lain.
4. Golongan fisiologik/ergonomik: desain tempat kerja dan beban kerja.
5. Golongan psikososial: stres psikis, monoton kerja, tuntutan kerja dan lain-lain.

## **2.2 *Muskuloskeletal disorder (MSDs)***

*Muskuloskeletal disorder (MSDs)* 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, ligament dan tendon. Keluhan hingga kerusakan inilah

yang biasanya diistilahkan dengan keluhan MSDs atau cedera pada sistem *musculoskeletal* (Tarwaka dkk., 2004).

MSDs terjadi karena tidak ada atau kurangnya kesesuaian antara kemampuan dan keterbatasan manusia dengan pekerjaannya. Selain MSDs, juga dikenal dengan istilah *Work-Related Musculoskeletal Disorders* (WMDs) merupakan MSDs yang berhubungan dengan pekerjaan. WMDs dapat diartikan sebagai MSDs yang dipengaruhi oleh lingkungan kerja dan performa pekerjaan. WMSDs juga dapat berarti MSDs yang berefek buruk atau dalam waktu yang lama akan menimbulkan efek buruk yang disebabkan oleh kondisi pekerjaan serta karakteristik personal dan faktor sosial yang berkontribusi terhadap perkembangan WMSDs (NIOSH, 1997).

MSDs biasanya tidak hanya disebabkan oleh sebuah faktor tunggal atau sebuah kejadian (seperti jatuh, tergelincir atau tersandung) akan tetapi juga merupakan kombinasi dan akumulasi dari berbagai faktor risiko ergonomi dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

Terdapat perbedaan istilah MSDs pada beberapa negara. MSDs di Amerika lebih dikenal dengan *Cumulative Trauma Disorder* (CTD), Inggris dan Australia dikenal dengan *Repetitive Strain Injury* (RSI) dan di Jepang dan Skandinavia lebih dikenal dengan *Occupational Cervicobrachial Disorder* (OCD) (Pheasant, 1999).

Keluhan muskuloskeletal secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. Keluhan sementara (*reversible*), yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, tetapi keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan.
2. Keluhan menetap (*persistent*), yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Pembebanan kerja walaupun telah dihentikan, tetapi rasa sakit pada otot masih terus berlanjut (Tarwaka dkk., 2004).

Gejala-gejala MSDs yang biasa dirasakan adalah sebagai berikut (Suma'mur, 1996):

1. Leher dan punggung terasa kaku.
2. Bahu terasa nyeri, kaku atau kehilangan fleksibilitas.
3. Tangan dan kaki terasa nyeri seperti tertusuk.
4. Siku atau mata kaki mengalami sakit, bengkak dan kaku.
5. Tangan dan pergelangan tangan merasakan gejala sakit atau nyeri disertai bengkak.
6. Mati rasa, terasa dingin, rasa terbakar ataupun tidak kuat.
7. Jari menjadi kehilangan mobilitasnya, kaku dan kehilangan kekuatan serta kehilangan kepekaan.
8. Kaki dan tumit merasakan kesemutan, dingin, kaku ataupun sensasi rasa panas.

### **2.3 Jenis-jenis *Muskulo Skeletal Disorder* (MSDs)**

Setiap jenis pekerjaan yang memajan pekerja pada beberapa kondisi yang berisiko akan berpotensi menyebabkan cedera otot

dan tulang. Beberapa jenis MSDs yang sering terjadi diantaranya adalah sebagai berikut (Sluiter dkk., 2001):

1. *Carpal tunnel syndrome* yaitu tekanan pada syaraf di pergelangan tangan yang dapat menyebabkan penutup sendi/urat ataupun urat sendi mengalami iritasi.
2. *Tendinitis* adalah peradangan hebat atau iritasi pada urat/sendai yang berkembang ketika otot secara berulang-ulang terpajan oleh penggunaan berlebih dan kejanggalan penggunaan tangan, pergelangan, lengan atau bahu.
3. *Tenosynovitis* adalah peradangan hebat atau iritasi dari penutup urat/sendai yang berhubungan dengan gerakan flexion dan extension dari pergelangan tangan.
4. *Synovitis* adalah peradangan atau iritasi lapisan *synovial* (lapisan tulang sendi).
5. *DeQuervain's disease* adalah tipe *synovitis* yang terjadi pada ibu jari.
6. *Bursitis* adalah peradangan atau iritasi yang terjadi pada jaringan penyambung di sekitar sendi, biasanya terjadi pada bahu.

## **2.4 *Carpal tunnel syndrome* (CTS)**

### **2.4.1 Pengertian *Carpal tunnel syndrome***

CTS merupakan jenis *Muskuloskeletal Disorder* (MSDs) yang paling sering terjadi. Sering terjadi pada usia 30 dan 60 tahun dan pada wanita terjadi lima kali lebih sering terkena dibandingkan laki-laki. Hal ini kemungkinan karena carpal

tunnel wanita lebih kecil daripada pria. Tangan yang lebih dominan digunakan biasanya yang pertama kali akan terkena CTS dan akan menimbulkan sakit yang hebat. Risiko CTS sering terjadi pada pekerjaan berulang dengan menggunakan tangan seperti kasir, petugas pengepakan, juru ketik, akuntan, penulis dan lain sebagainya (Harahap, 2003).

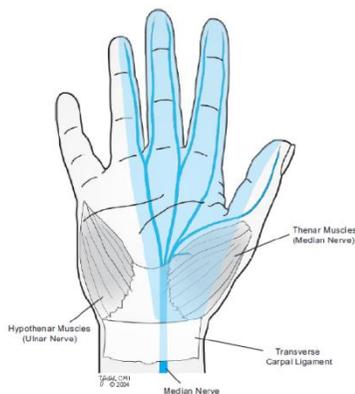
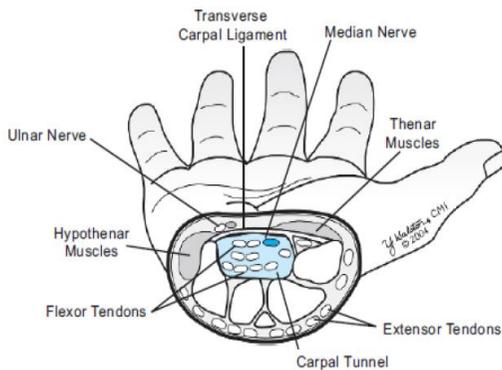
*Carpal tunnel syndrome (CTS) atau sindroma terowongan karpal* adalah salah satu gangguan pada lengan tangan karena terjadi penyempitan pada terowongan karpal. CTS diartikan sebagai kelemahan pada tangan yang disertai nyeri pada daerah distribusi *nervus medianus* (Viera, 2003).

CTS disebabkan karena terperangkapnya *nervus medianus* dan atau karena adanya penekanan pada *nervus medianus* yang melewati terowongan karpal. Gangguan pada syaraf ini salah satunya berhubungan dengan pekerjaan yang mempunyai paparan getaran dalam jangka waktu yang panjang dan berulang (Griffin, 2007).

#### **2.4.2 Anatomi Carpal Tunnel (Terowongan Karpal )**

Terowongan karpal merupakan suatu celah yang terdapat pada lengan bawah sampai pergelangan tangan. Dinding terowongan tersebut terdiri dari dinding bagian bawah, kanan, dan kiri yang dibentuk oleh tulang-tulang karpal sedangkan bagian atas dibentuk oleh jalinan ligamen yang lebar dan kuat. Di dalam terowongan tersebut terdapat saraf medianus yang berfungsi

menyalurkan sensuri ke ibu jari, telunjuk dan jari manis serta mendistribusikan sensorik fungsi otot-otot dasar sisi dari ibu jari. Selain saraf medianus, di dalam terowongan tersebut terdapat pula tendon-tendon yang berfungsi untuk menggerakkan jari-jari. Proses inflamasi yang disebabkan stres berulang, cedera fisik atau keadaan lain pada pergelangan tangan, dapat menyebabkan jaringan di sekeliling saraf medianus membengkak. Lapisan pelindung tendon di dalam terowongan karpal dapat meradang dan membengkak. Bentuk ligamen pada bagian atas terowongan karpal menebal dan membesar. Keadaan tersebut menimbulkan tekanan pada serat-serat saraf medianus sehingga memperlambat penyaluran rangsang saraf yang melalui terowongan karpal. Akibatnya timbul rasa sakit, tidak terasa/kebas, rasa geli di pergelangan tangan, tangan dan jari-jari, kecuali jari kelingking (Tana, 2003).



(a) Anatomi Terowongan Karpal

(b)

Distribusi Sensorik

**Gambar 2.1** Nervus Medianus (a) Anatomi terowongan karpal  
(b) Distribusi sensorik (Davis,2005)

### 2.4.3 Postur Janggal pada Tangan dan Pergelangan Tangan

Posisi tangan yang netral pada saat melakukan pekerjaan adalah pada saat posisi sumbu lengan bawah terletak satu garis lurus dengan jari tengah atau posisi dimana lengan membentuk sudut  $90^{\circ}$  dan siku ada pada posisi setinggi pinggang. Postur janggal pada tangan dapat menyebabkan gangguan otot, tendon dan saraf terutama jika dikombinasikan dengan pengulangan yang tinggi

dan tenaga kuat. Postur janggal pada tangan dapat terjadi akibat desain dari peralatan kerja yang tidak ergonomi.

Di bawah ini terdapat beberapa jenis dari postur janggal pada tangan dan pergelangan tangan sebagai berikut (Humantech, 1995):

1. Deviasi ulnar adalah posisi tangan yang miring menjauhi arah ibu jari selama  $\geq 10$  detik dengan frekuensi  $> 40$  kali selama 1 menit
2. Deviasi radial adalah posisi tangan yang miring mendekati arah ibu jari selama  $\geq 10$  detik dengan frekuensi  $> 30$  kali selama 1 menit.
3. Ektensi adalah posisi pergelangan tangan yang menekuk ke arah punggung tangan dan membentuk sudut  $\geq 45^\circ$  antara lengan bawah dan sumbu tangan selama  $\geq 10$  detik dengan frekuensi  $> 30$  kali selama 1 menit.
4. Fleksi adalah posisi tangan menekuk ke arah telapak tangan membentuk sudut  $\geq 45^\circ$  antara lengan bawah dan sumbu tangan selama  $\geq 10$  detik dengan frekuensi  $> 30$  kali selama 1 menit.

#### **2.4.4 Faktor-faktor risiko yang mempengaruhi terjadinya CTS**

Penyebab utama CTS sering sangat sukar ditentukan, apakah karena kondisi kerja atau karena suatu penyakit. Pada banyak pasien dengan CTS, penyebab dasar dari keluhan tidak dapat

ditemukan. Mekanis mepatofisiologis terjebaknya saraf medianus adalah berbeda antara pekerja dan bukan pekerja, atau untuk lebih tepat antara yang melakukan pekerjaan dengan gerak tangan berulang dan yang tidak. Tanaka membagi penyebab CTS menjadi 3 faktor, yaitu : (i) faktor intrinsik, (ii) faktor penggunaan tangan (penggunaan tangan yang berhubungan dengan hobi, dan penggunaan tangan yang berhubungan dengan pekerjaan), (iii) faktor trauma (Tanaka, 1995).

Faktor intrinsik terjadinya CTS adalah sekunder, karena beberapa penyakit atau kelainan yang sudah ada (Cannon, 1981). Beberapa penyakit atau kelainan yang merupakan faktor intrinsik yang dapat menimbulkan CTS adalah perubahan hormonal seperti kehamilan, pemakaian hormon estrogen pada menopause, dapat berakibat retensi cairan dan menyebabkan pembengkakan pada jaringan di sekeliling terowongan karpal, penyakit/keadaan tertentu seperti hemodialisis yang berlangsung lama, pengobatan yang berefek pada sistem imun dan obat anti pembekuan darah, kegemukan (obesitas), keadaan lain seperti merokok, gizi buruk dan stres, adanya riwayat keluarga dengan CTS, dan jenis kelamin, hasil penelitian menunjukkan bahwa wanita mempunyai risiko mendapat CTS lebih tinggi secara bermakna dibandingkan laki-laki. Penggunaan tangan yang berhubungan dengan hobi, contohnya adalah pekerjaan rumah tangga (menjahit, merajut, menusuk, memasak), kesenian dan olah raga (Cannon, 1981).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa lebih dari separuh penyebab CTS adalah faktor di tempat kerja. Peneliti lain menyatakan beberapa kasus CTS disebabkan karena kondisi pekerjaan dan

ada hubungan antara CTS dan gerakan biomekanis berulang pada pergelangan tangan dan tangan ( Barberi, 1993., Stock, 1991). Faktor pekerjaan (gerakan biomekanis berulang), sikap, cara kerja dan kondisi tempat kerja yang dapat meningkatkan risiko terjadinya CTS adalah (Silverstein, 1987., Gemne, 1997., Young, Scaton, 1995) :

1. Pekerjaan-pekerjaan dengan kombinasi antara pemakaian tenaga yang kuat dan pengulangan gerakan yang sama pada jari dan tangan, menggenggam alat dengan kuat, menjepit benda dengan jari, posisi/postur sendi tidak baik/ekstrim, tekanan langsung pada sendi, vibrasi/getaran serta peregangan yang berlangsung lama.
2. Posisi tubuh bagian belakang yang tidak baik.
3. Faktor *psikososial* di tempat kerja, contohnya mengejar batas akhir pelaksanaan kerja, hubungan antara teman kerja yang kurang baik.

Faktor trauma dapat berupa trauma kecelakaan karena pekerjaan dan bukan pekerjaan. Kasus akut CTS dapat terjadi karena trauma pada pergelangan tangan yang menyebabkan terjebaknya saraf medianus, sebagai akibat kecelakaan pada saat bekerja atau ketika sedang berolah raga.

### 2.4.5 Hubungan CTS dengan pekerjaan

Untuk menentukan apakah suatu CTS berhubungan dengan pekerjaan dipakai beberapa petunjuk berikut, yaitu (Mahoney, 1995 dan Gemne, 1997) :

1. Ada pengulangan yang sering dari gerakan yang sama/serupa pada tangan atau pergelangan tangan pada sisi yang terkena.
2. Pekerjaan/tugas sehari-hari dengan tenaga kuat pada tangan yang terkena.
3. Pekerjaan/tugas sehari-hari yang terus menerus dengan posisi yang kurang baik pada tangan yang terkena.
4. Pekerjaan/tugas sehari-hari yang memakai alat bantu genggam.
5. Tekanan yang lama atau sering di atas pergelangan atau pada dasar telapak tangan yang terkena.

### 2.4.6 Gejala Klinis

Gejala awal CTS umumnya berupa gangguan sensorik. Gangguan motorik hanya dalam keadaan yang berat (Davis, dkk., 2005). Gejala awal biasanya berupa *parastesia*, kurang merasa (*numbness*) atau rasa seperti terkena aliran listrik (*tingling*) pada jari dan setengah sisi radial jari sesuai dengan distribusi sensorik *nervus medianus*, walaupun kadang-kadang dirasakan pada seluruh jari-jari (Salter, 1983).

Keluhan *parastesia* biasanya lebih menonjol di malam hari. Gejala lainnya adalah nyeri di tangan yang juga dirasakan lebih

berat pada malam hari sehingga sering membangunkan penderita dari tidurnya. Rasa ini dapat berkurang bila penderita memijat atau menggerak-gerakkan tangannya atau dengan meletakkan tangannya pada posisi lebih tinggi. Nyeri juga akan berkurang bila penderita lebih banyak mengistirahatkan tangannya. Apabila penyakit berlanjut, rasa nyeri dapat bertambah berat dengan frekuensi serangan yang semakin sering bahkan menetap. Kadang-kadang rasa nyeri dapat terasa sampai ke lengan dan atas leher sedangkan *parastesia* umumnya terbatas di daerah distal pergelangan tangan (Rambe, 2004).

Apabila tidak segera ditangani dengan baik maka jari-jari menjadi kurang terampil misalnya saat memungut benda-benda kecil. Kelemahan pada tangan juga sering dinyatakan dengan keluhan adanya kesulitan menggenggam (Moeliono, 1993 dan Davis, dkk., 2005).

Gejala klinis CTS menurut Grafton, (2009) menyebutkan gejala-gejala CTS adalah sebaga berikut:

1. Mati rasa, rasa terbakar atau kesemutan di jari-jari dan telapak tangan.
2. Nyeri di telapak, pergelangan tangan atau lengan bawah, khususnya selama penggunaan tangan.
3. Penurunan kekuatan mencengkram.
4. Kelemahan pada ibu jari.
5. Sensasi jari bengkok (ada atau tidak terlihat bengkok).
6. Kesulitan membedakan antara panas dan dingin.

### 2.4.7 Diagnosa

Diagnosa CTS dilakukan selain berdasarkan gejala-gejala klinis di atas juga didukung oleh beberapa pemeriksaan, yaitu sebagai berikut:

#### 1. Pemeriksaan fisik

Pemeriksaan dilakukan secara menyeluruh pada penderita dengan perhatian khusus pada fungsi, motorik, sensorik dan otonom tangan. Beberapa tes objektif yang dapat membantu menegakkan diagnosa CTS adalah sebagai berikut (Moeliono, 1993 dan Greenberg, 1994):

##### a. *Flik's sign*

Subjek diminta mengibas-ngibaskan tangan atau menggerak-gerakkan jari-jarinya. Apabila keluhan berkurang atau menghilang akan mendukung diagnosa CTS, tetapi tanda ini juga dapat dijumpai pada penyakit Raynauld.

##### b. *Wrist extention test*

Subjek melakukan ekstensi tangan secara maksimal, sebaiknya dilakukan serentak pada kedua tangan sehingga dapat dibandingkan. Bila dalam 60 detik timbul gejala-gejala seperti CTS maka tes ini mendukung diagnosa.

##### c. *Phalen's test*

Subjek melakukan fleksi tangan secara maksimal, sebaiknya dilakukan serentak pada kedua tangan agar dapat dibandingkan. Bila dalam waktu 60 detik timbul rasa kebas, kesemutan atau seperti terkena listrik mendukung diagnosa CTS.

d. *Tinel's test*

Tes ini mendukung diagnosa bila timbul parastesia atau nyeri pada daerah distribusi *nervus medianus* bila dilakukan perkusi pada terowongan karpal dengan posisi tangan sedikit *dorsofleksi*.

e. *Pressure test*

Dengan memakai ibu jari, *nervus medianus* di pergelangan (tempat memeriksa tanda dari tinel) ditekan dengan lembut. Apabila dalam waktu < 120 detik timbul rasa kebas, kesemutan seperti terkena listrik ataupun nyeri di daerah distribusi *nervus medianus* dinyatakan tes positif, mendukung untuk diagnosis CTS. (Pemeriksaan dilakukan serentak pada kedua tangan).

f. *Tournique test*

Melakukan bendungan dengan alat tensimeter proksimal siku sedikit di atas tekanan sistolik. Apabila dalam 60 detik timbul rasa kesemutan, kebas, atau seperti terkena listrik pada daerah distribusi *nervus medianus*, tes dinyatakan positif, hal ini mendukung diagnosis CTS. (Tes ini akan positif bila pada beberapa penyakit lain misalnya penyakit Raynauld).

g. *Luthy's sign (bottle's sign)*

Subjek diminta mengenggam dengan melingkarkan ibu jari dan telunjuknya pada benda yang berbentuk tabung misalnya botol atau gelas. Apabila lipatan kulit penderita tidak dapat menyentuh dinding tabung dengan rapat dinyatakan tanda Luthy positif, hal ini mendukung

diagnosis CTS. Tes yang sering digunakan untuk mendiagnosis CTS (NIOSH) adalah *Phalen test* dan *Tinnel test*.

## 2. Pemeriksaan Neurofisiologi (elektrodiagnostik)

Pada pemeriksaan fisik ini dilakukan pemeriksaan fungsi sensorik, motorik dan otonom. Pada pemeriksaan penunjang dilakukan pemeriksaan dengan alat elektroneurografi (ENG) dan elektromiografi (EMG). Pemeriksaan ENG dan EMG sangat bermanfaat untuk mendiagnosis CTS terutama bila pasien juga menderita kelainan neuropati. Pemeriksaan ENG lebih banyak membantu untuk mengkonfirmasi diagnosis terutama pada kasus CTS terselubung dan tidak khas sedangkan EMG lebih berperan dalam evaluasi derajat CTS (Tana, 2003).

## 3. Pemeriksaan Radiologi

Pemeriksaan dengan rontgen, USG resolusi tinggi dan CT scan terhadap pergelangan tangan dapat mengetahui kondisi terowongan karpal. Pemeriksaan ini hanya dilakukan pada kasus-kasus tertentu saja sebelum tindakan operasi (Moeliono, 1993 dan Greenberg, 1994).

## 4. Pemeriksaan Laboratorium

Apabila penyebab CTS belum jelas, misalnya pada penderita usia muda tanpa adanya gerakan tangan repetitif dapat dilakukan beberapa pemeriksaan seperti kadar gula darah, kadar hormon tiroid ataupun darah lengkap (Moelino, 1993 dan Greenberg, 1994).

### 2.4.8 Klasifikasi Carpal tunnel syndrome

Berdasarkan percobaan dan observasi klinis, CTS terbagi menjadi stadium akut awal/dini, intermediate dan kronik (Harahap, 2003). Monsivais, dkk., (1994) mengklasifikasikan CTS menjadi tiga derajat seperti pada **Tabel 2.1** di bawah ini.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Carpal Tunnel Syndrome  
(Harahap, 2003)

Derajat	Tinney's Sign	Phalen's test	Diskriminasi titik	Vibrasi 2 ory	Conduct ion velocity	EMG	Atrofi otot (Thenar)
Ringan	-	1 atau + dgn Provokasi	3-6 mm	Normal 1 atau terganggu	Normal min terganggu	Normal 1 atau terganggu	-
Sedang	+	+	6-10 mm	Absen	Memanjang	Abnormal	-
Berat	+	+	≥ 10 mm	Absen	Abnormal	Abnormal	+

### 2.5 Faktor-faktor *Musculoskeletal Disorders* (MSDs)

Menurut Peter Vi (2000) dalam Tarwaka dkk. (2004), faktor-faktor yang mempengaruhi keluhan MSDs terdiri dari faktor pekerjaan, faktor individu dan lingkungan kerja. Faktor pekerjaan yaitu peregangan otot yang berlebihan (beban), aktivitas berulang (frekuensi) dan postur janggal saat bekerja. Faktor individu terdiri dari umur, jenis kelamin, kebiasaan merokok, kesegaran jasmani, kekuatan fisik, antropometri.

Untuk faktor lingkungan adalah tekanan, getaran, suhu dan pencahayaan.

### **2.5.1 Faktor Pekerjaan**

Faktor risiko pekerjaan adalah karakteristik pekerjaan yang dapat meningkatkan risiko cedera pada sistem otot rangka.

#### **1. Postur Tubuh**

Menurut Pheasant (1991), postur tubuh dapat didefinisikan sebagai orientasi reaktif dari bagian tubuh terhadap ruang. Untuk melakukan orientasi tubuh tersebut selama beberapa rentang waktu dibutuhkan kerja otot untuk menyangga atau menggerakkan tubuh. Postur yang diadopsi manusia saat melakukan beberapa pekerjaan adalah hubungan antara dimensi tubuh pekerja dengan dimensi beberapa benda dalam lingkungan kerjanya.

Secara alamiah postur tubuh dibagi menjadi dua yaitu (ILO, 1998):

##### **1.1. Statis**

Postur statis merupakan postur yang tetap atau sama hampir disepanjang waktu. Pada postur statis hampir tidak terjadi pergerakan otot dan sendi sehingga beban yang ada adalah beban statis. Suplai darah yang membawa nutrisi dan oksigen dalam kondisi ini akan terganggu sehingga akan mengganggu proses metabolisme tubuh. Permasalahan dalam pekerjaan statis adalah postur yang sama dalam jangka waktu yang lama

sehingga dapat menyebabkan stress atau tekanan pada bagian tubuh tertentu.

### 1.2.Dinamis

Postur dinamis adalah postur yang terjadi dengan adanya perubahan panjang dan peregangan pada otot serta adanya perpindahan beban. Postur dinamis melibatkan adanya gerakan. Posisi yang paling nyaman bagi tubuh adalah posisi netral dengan pergerakan. Apabila pergerakan tersebut terjadi terus menerus dan berkelanjutan maka dapat membahayakan kesehatan. Hal ini dapat terjadi karena pergerakan yang berkepanjangan akan membutuhkan energi yang lebih besar daripada posisi statis, terutama pada pergerakan pada saat menangani beban yang berat.

Jenis postur tubuh terdiri dari:

#### 1. Postur netral

Postur netral merupakan postur ketika seseorang sedang melakukan proses pekerjaannya, sesuai dengan struktur anatomi tubuh seseorang dan tidak terjadi penekanan atau pergeseran pada bagian penting tubuh serta tidak menimbulkan keluhan.

Postur janggal (posture stress)

#### 2. Postur janggal merupakan posisi bagian tubuh yang menyimpang dari posisi normal. Postur janggal berhubungan dengan diviasi tulang sendi dari posisi netralnya yang menyebabkan posisi tubuh menjadi tidak simetris.

Posisi janggal membebani sistem otot rangka sebagai penyangga tubuh. Ada beberapa postur janggal yang harus diperhatikan dalam bekerja :

- Menahan atau memegang beban jauh dari tubuh.
- Menjangkau dan menangani beban di atas ketinggian bahu.
- Membungkuk dan menangani beban di atas ketinggian bahu.
- Berputar.
- Membungkuk ke samping dan menangani beban dengan satu tangan.
- Mendorong dan menarik yang berlebihan.

## 2. Beban atau Tenaga (*force*)

Pekerja yang melakukan aktivitas mengangkat barang yang berat memiliki kesempatan delapan kali lebih besar untuk mengalami nyeri punggung bagian bawah (*low back pain*) dibandingkan pekerja yang bekerja statis. Penelitian lain membuktikan bahwa *hernia diskus* lebih sering terjadi pada pekerja yang mengangkat barang berat dengan postur membungkuk dan berputar (Levy dkk., 2000)

## 3. Durasi

Durasi adalah jumlah waktu terpajan faktor risiko. Durasi didefinisikan sebagai durasi singkat jika < 1 jam per hari, durasi sedang yaitu 1-2 jam per hari, dan durasi lama yaitu > 2

jam per hari. Semakin besar pajanan, secara umum durasi pada faktor risiko semakin besar pula tingkat risikonya. Risiko fisiologis utama yang dikaitkan dengan gerakan yang sering dan berulang-ulang adalah kelelahan otot. Selama otot mengalami kontraksi, otot tersebut harus menerima pasokan tetap oksigen dan bahan gizi dari aliran darah. Jika gerakan berulang dari otot menjadi terlalu cepat untuk membiarkan oksigen yang memadai mencapai jaringan atau membiarkan uptake kalsium, terjadilah kelelahan otot.

#### 4. Frekuensi

Frekuensi repetitif pada aktivitas pekerjaan yang sama dapat memperburuk akibat dari postur janggal dan gangguan tenaga. Tendon dan otot dapat memperbaiki dari efek peregangan atau penggunaan tenaga jika waktu yang dibagikan dalam penggunaannya. Bagaimanapun jika pergerakan meliputi otot yang sama sering diulang tanpa istirahat, kelelahan dan ketegangan dapat terakumulasi menghasilkan kerusakan jaringan. Penting untuk dicatat bahwa perbedaan pekerjaan mungkin dibutuhkan untuk menghindari penggunaan pengulangan dari sekelompok otot yang sama

#### 5. Gerakan Repetitif

Posisi atau postur yang salah dengan frekuensi pekerjaan yang sering dapat menyebabkan suplai darah berkurang, akumulasi asam laktat, inflamasi, tekanan pada otot dan trauma mekanis. Frekuensi terjadinya sikap tubuh yang salah terkait dengan

terjadinya *repetitif motion* dalam melakukan suatu pekerjaan. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja terus menerus tanpa memperoleh kemampuan untuk relaksasi (Bridger, 1995). Gerakan lengan dan tangan yang dilakukan secara berulang-ulang terutama pada saat bekerja yang mempunyai risiko bahaya tinggi terhadap timbulnya CTD. Tingkat risiko akan bertambah jika pekerjaan dilakukan dengan tenaga besar dalam waktu yang sangat cepat dan waktu pemulihan berkurang.

#### 6. Genggaman

Genggaman menyebabkan terjadinya tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak. Sebagai contoh, pada saat tangan harus memegang alat maka jaringan otot tangan yang lunak akan menerima tekanan langsung dari pegangan alat dan apabila hal ini terjadi dapat menyebabkan rasa nyeri otot yang menetap.

### **2.5.2 Faktor individu**

Tarwaka, dkk (2004) membuktikan bahwa terdapat faktor individu yang dapat mempengaruhi risiko terjadinya gangguan pada sistem rangka.

#### 1. Umur

Umumnya keluhan otot skeletal mulai dirasakan pada usia kerja, yaitu 26-65 tahun. Keluhan pertama biasanya dirasakan pada umur 35 tahun dan tingkat keluhan akan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya umur. Hal ini

terjadi karena pada umur setengah baya, kekuatan dan ketahanan otot mulai menurun sehingga risiko terjadinya keluhan otot semakin meningkat.

Suatu studi tentang kekuatan statik otot untuk pria dan wanita dengan usia antara 20 sampai dengan umur diatas 60 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan otot maksimal terjadi pada saat umur antara 20-29 tahun, selanjutnya terus terjadi penurunan sejalan dengan bertambahnya umur. Pada saat umur mencapai 60 tahun, rata-rata kekuatan otot menurun sampai 20 %. Pada saat kekuatan otot menurun maka risiko terjadinya keluhan otot akan meningkat. Sebuah penelitian menjelaskan bahwa umur mempunyai hubungan yang sangat erat dengan kekuatan otot, terutama otot leher dan bahu bahkan ada beberapa ahli lainnya menyatakan bahwa umur merupakan penyebab utama terjadinya keluhan otot.

## 2. Masa Kerja

Masa kerja merupakan faktor risiko dari suatu pekerjaan yang terkait dengan lama bekerja, dapat berupa masa kerja dalam suatu perusahaan maupun masa kerja dalam suatu unit produksi. Masa kerja merupakan faktor risiko yang sangat mempengaruhi seseorang pekerja menderita muskuloskeletal disorder, terutama untuk jenis pekerjaan yang menggunakan kekuatan yang besar.

Pekerja yang tidak berpengalaman mempunyai peluang yang lebih besar mengalami kecelakaan karena baru mengetahui teknik dan metode suatu pekerjaan.

### 3. Jenis kelamin

Walaupun masih ada perbedaan pendapat dari beberapa ahli tentang pengaruh jenis kelamin terhadap risiko keluhan otot skeletal, namun beberapa hasil penelitian secara signifikan menunjukkan bahwa jenis kelamin mempengaruhi tingkat risiko keluhan otot. Tarwaka, dkk (2004) menjelaskan bahwa kekuatan otot wanita hanya sekitar dua pertiga dari kekuatan otot pria sehingga daya tahan otot pria lebih tinggi dibandingkan wanita.

Rata-rata kekuatan wanita kurang lebih hanya 60 % dari kekuatan otot pria khususnya untuk otot lengan, punggung dan kaki. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa perbandingan keluhan otot antara pria dan wanita adalah 1:3 (Tarwaka, dkk., 2004)

### 4. Kebiasaan Merokok

Sama halnya dengan faktor jenis kelamin, pengaruh kebiasaan merokok terhadap keluhan otot juga masih diperdebatkan dengan para ahli, namun demikian, beberapa penelitian telah membuktikan bahwa meningkatnya keluhan sangat erat hubungannya dengan lama dan tingkat kebiasaan merokok. Semakin lama dan semakin tinggi frekuensi

merokok, semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.

Hubungan yang signifikan antara kebiasaan merokok dengan keluhan otot pinggang, khususnya untuk pekerjaan yang memerlukan pengerahan otot. Hal ini sebenarnya terkait erat dengan kondisi kesegaran tubuh seseorang. Kebiasaan merokok akan dapat menurunkan kapasitas paru paru, sehingga kemampuan untuk mengonsumsi oksigen menurun dan sebagai akibatnya tingkat kesegaran tubuh juga menurun. Apabila yang bersangkutan harus melakukan tugas yang menuntut pengerahan tenaga, maka akan mudah lelah karena oksigen dalam darah rendah, pembakaran karbohidrat terhambat, terjadi tumpukan asam laktat dan akhirnya timbul rasa nyeri otot (Tarwaka dkk., 2004).

## 5. KesegaranJasmani

Kesegaran jasmani adalah kesanggupan atau kemampuan tubuh manusia melakukan penyesuaian (adaptasi) terhadap beban fisik yang dihadapi tanpa menimbulkan kelelahan yang berarti dan masih memiliki kapasitas cadangan untuk melakukan aktifitas berikutnya. Umumnya keluhan otot jarang dialami oleh seseorang yang dalam aktifitas kesehariannya mempunyai cukup waktu untuk beristirahat. Sebaliknya, bagi yang pekerjaan kesehariannya memerlukan tenaga besar dan tidak cukup istirahat akan lebih sering mengalami keluhan otot. Tingkat kesegaran tubuh yang rendah akan mempertinggi risiko terjadinya keluhan

otot. Keluhan otot akan meningkat sejalan dengan bertambahnya aktifitas fisik (Tarwaka dkk., 2004).

## 6. Index Massa Tubuh

Index Massa Tubuh (Body Mass Index) atau yang disingkat IMT merupakan suatu pengukuran yang menghubungkan (membandingkan) berat badan dengan tinggi badan. Walaupun dinamakan “index”, IMT sebenarnya adalah rasio yang dinyatakan sebagai berat badan (dalam kilogram) dibagi dengan kuadrat tinggi badan (dalam meter) (WHO, 2004).

Keseimbangan energi dicapai bila energi masuk ke dalam tubuh melalui makanan sama dengan energi yang dikeluarkan. Keadaan ini akan menghasilkan berat badan ideal/normal. Berat badan ideal ini tergantung pula pada besar kerangka dan komposisi tubuh dalam hal ini otot dan lemak. Seorang yang berkerangka besar dan mempunyai komposisi otot relatif lebih besar sehingga mempunyai berat badan yang lebih besar. Untuk hal ini diberi kelonggaran kurang lebih 1- 20%.

Dengan IMT akan diketahui apakah berat badan seseorang dinyatakan normal atau gemuk. Penggunaan IMT hanya untuk orang dewasa berumur > 18 tahun dan tidak dapat diterapkan pada bayi, anak, remaja, ibu hamil dan olahragawan. Batas ambang IMT ditentukan dengan menunjuk ketentuan (WHO, 2004).

Untuk kepentingan Indonesia, batas ambang dimodifikasi lagi berdasarkan pengalaman klinis dan hasil penelitian di beberapa

negara berkembang. Pada akhirnya diambil kesimpulan, batas ambang IMT untuk Indonesia adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.2** Batas Ambang Index Massa Tubuh untuk Indonesia  
(Depkes, 1994)

Kategori	IMT
Sangat Kurus	< 17,0
Kurus	17,0-18,5
Normal	18,5-25,0
Gemuk	>25,0-27,0
Sangat Gemuk	>27,0

Kaitan IMT dengan MSDs adalah semakin gemuk seseorang maka bertambah besar risikonya untuk mengalami MSDs. Hal ini dikarenakan seseorang dengan kelebihan berat badan akan berusaha untuk menyangga berat badan dari depan dengan mengontraksikan otot punggung bawah dan apabila ini terus menerus berlanjut akan menyebabkan penekanan pada bantalan syaraf tulang belakang yang mengakibatkan hernia nucleus pulposus atau syaraf terjepit (Tan dan Horn, 1998).

### **7. Antropometri**

*Antropometri* terkait dengan ukuran berat badan, tinggi badan dan massa tubuh. Kesesuaian *antropometri* pekerja terhadap alat akan mempengaruhi pada sikap kerja, tingkat kelelahan, kemampuan kerja dan produktivitas. Beberapa hasil penelitian diantaranya menunjukkan bahwa wanita gemuk memiliki risiko dua kali lebih besar daripada wanita kurus dan pada tubuh yang tinggi

umumnya mengalami keluhan pada punggung, Hal tersebut dapat terjadi karena kondisi keseimbangan struktur rangka dalam menerima beban dipengaruhi oleh beban, baik beban massa tubuh ataupun beban tambahan lain yang menekan tubuh (Tarwaka dkk., 2004)

## **2.6 Getaran**

### **2.6.1 Pengertian Getaran**

Getaran secara umum adalah gerakan yang teratur dari benda atau media dengan arah bolak-balik dari kedudukan keseimbangan (KEP-51/MEN/1999). Obyek yang bergetar pada gerakan lambat akan terlihat suatu gerakan pada posisi yang berbeda. Seberapa jauh dan seberapa cepat objek yang bergerak akan membantu menentukan sifat dari suatu getaran. Sebutan yang digunakan untuk menggambarkan pergerakan adalah frekuensi, amplitudo dan percepatan.

Frekuensi adalah jumlah dari posisi tetap dari objek getaran secara lengkap tiap detik. Satuan dari frekuensi adalah hertz (Hz). Satu hertz sama dengan 1 putaran per detik. Amplitudo adalah jarak dari posisi tetap ke posisi yang paling jauh pada bagian lain dan diukur dalam meter. Intensitas dari getaran tergantung pada amplitudo. Percepatan adalah pengukuran perubahan kecepatan tiap satuan waktu dalam satuan meter per detik<sup>2</sup> (m/dtk<sup>2</sup>). (Ardy Dharma Ali, 2008). Jenis getaran dalam ilmu biomedis dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

1. Getaran seluruh tubuh (*whole body vibration*)

Getaran pada seluruh tubuh atau umum yaitu terjadi getaran pada tubuh pekerja sambil duduk atau sedang berdiri dimana

landasannya yang menimbulkan getaran. Biasanya frekuensi getaran ini adalah sebesar 5-20 Hz (Salim, 2002 dalam Rahayu, 2011). Getaran seperti ini biasanya dialami oleh pengemudi kendaraan seperti traktor, bus, helikopter atau bahkan kapal.

## 2. Getaran lengan tangan (*hand arm vibration*)

Getaran lokal yaitu getaran yang merambat melalui tangan akibat pemakaian peralatan yang bergetar, frekuensinya biasanya antara 20-500 Hz (Salim, 2002 dalam Rahayu, 2011). Frekuensi yang paling berbahaya adalah 128 Hz, karena tubuh manusia sangat peka pada frekuensi ini. Getaran ini berbahaya pada pekerjaan seperti supir bajaj, operator gergaji rantai, tukang potong rumput, gerinda dan penempa palu.

### 2.6.2 Sumber Getaran

Adapun sumber getaran dapat berasal dari kegiatan industri seperti pertanian, konstruksi, *furniture*, tekstil dan transportasi. (<http://www.consultnet.ie/vibration.htm>).

Perkakas yang bergetar secara luas dipergunakan dalam industri logam, perakitan kapal dan otomotif, dipertambangan, kehutanan dan konstruksi. Peralatan yang paling banyak digunakan adalah bor pneumatik, menghasilkan getaran mekanik dengan ciri fisik dan efek yang berbeda (Wijaya, 1995).

Dibidang pertanian sumber getaran yang ada pada peralatan seperti *band resaw*, *cross cut*, *log band*, *saw*, *planer*, *band saw*, *double cross cut* dan *spindel moulder*. Sumber getaran

dibidang tekstil dan produk tekstil ada pada peralatan seperti mesin tenun, mesin jahit dan mesin potong kain.

### **2.6.3 Job Strain Index (JSI)**

Ada beberapa jenis alat ukur yang dapat digunakan dalam melakukan penelitian terhadap suatu bentuk permasalahan dengan menggunakan dasar disiplin ilmu biomekanika, diantaranya *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)*, *Quick Exposure Checklist (QEC)*, *Rapid Entire Body Assesment (REBA)*, *Job Strain Index (JSI)* dan sebagainya. Beberapa alat ukur mengumpulkan data dengan cara pengukuran secara obyektif atau pengukuran secara langsung kepada partisipan. Contoh pengukuran jenis ini yaitu pengukuran tingkat kekuatan seseorang dengan menggunakan alat *electromyography (EMG)*. Namun ada pula alat ukur dimana pengumpulan data dilakukan berdasarkan penilaian subjektif peneliti. Pada kondisi tersebut, peneliti akan melakukan observasi dan pengamatan mendalam terhadap permasalahan yang ada kemudian memberikan penilaiannya. Pengumpulan data dengan cara mengumpulkan data berdasarkan penilaian subjektif ini biasanya dilakukan dengan cara menggunakan alat ukur berupa kuisioner.

*Job Strain index* merupakan metode pengukuran cepat yang dikembangkan oleh Moore dan Grag, (1995). Metode ini dikembangkan dengan tujuan untuk melakukan estimasi besarnya risiko cedera pada bagian tangan. Berbeda dengan metode pengukuran cepat lainnya, metode JSI tidaklah bersifat

pengukuran subjektif. Hal ini dikarenakan data yang ada diukur secara langsung dari kondisi aktual pengamatan.

Pengukuran dengan metode JSI terdiri dari enam parameter pengukuran, yaitu sebagai berikut :

1. Intensitas pengerahan tenaga (*Intensity of Exertion/IE*)
2. Durasi pengerahan tenaga (*Duration of Exertion/DE*)
3. Jumlah usaha per menit (*Effort per Minute/EM*)
4. Postur tangan dan pergelangan tangan (*Hand/Wrist Posture/HWP*)
5. Kecepatan Kerja (*Speed of Work/SW*)
6. Durasi kerja per hari (*Duration of Task/DD*)

JSI digunakan hanya untuk gerakan-gerakan berulang pada tubuh bagian atas, yaitu siku, lengan bawah, tangan dan pergelangan tangan (Moore dkk, 1995). Proses penggunaan metode JSI meliputi :

1. Mengumpulkan data
2. Pembobotan setiap variabel kerja
3. Menentukan pengali untuk setiap variabel
4. Mengalikan pengali untuk menghitung score strain index
5. Mengevaluasi score strain index

## **2.7 Metode Lagrange Multiplier**

Metode Lagrange merupakan sebuah teknik yang dapat digunakan menyelesaikan masalah optimasi dengan kendala

persamaan. Inti dari metode ini adalah mengubah titik ekstrem terkendala menjadi persoalan titik ekstrem bebas kendala. Sehingga dengan metode ini, didapat solusi untuk memperoleh keuntungan maksimum. Menurut Astiti, Asih dan Widana (2013) penentuan keuntungan maksimum dengan menggunakan metode Lagrange telah diaplikasikan pada penjualan olahan tape dengan untuk mendapatkan keuntungan maksimum, hal senada juga dikerjakan oleh Putra, Asih dan Widana (2015) pada optimalisasi penjualan kain endek dengan metode Karush-Kuhn Tucker yang merupakan perluasan metode Lagrange. Syaripuddin (2011) meneliti penerapan metode Lagrange dalam bidang ekonomi, Putra, VGV meneliti penggunaan metode Lagrange pada penerapan kasus pemintalan di bidang ilmu tekstil (2014), Putra VGV dkk (2015) meneliti tentang optimalisasi sudut puntiran di bidang tekstil menggunakan metode Lagrange. Sebelum mengerjakan kasus umum pada kalkulus variasi menggunakan metode Lagrange, umumnya dapat diperkenalkan pembahasan masalah geodesik di suatu bidang datar dua dimensi terlebih dahulu. Dapat diperlihatkan kasus dua buah titik yang berada pada suatu bidang datar dan diinginkan untuk didapatkan jarak minimal (optimal) dari dua buah titik tersebut. Moore, N (1934) dan Hilgert dan Karl (2010).

Untuk suatu kurva  $q(t)$  yang memetakan suatu himpunan real/nyata  $\mathbb{R}$  (pada suatu kurva) ke himpunan nyata lain  $\mathbb{R}^n$

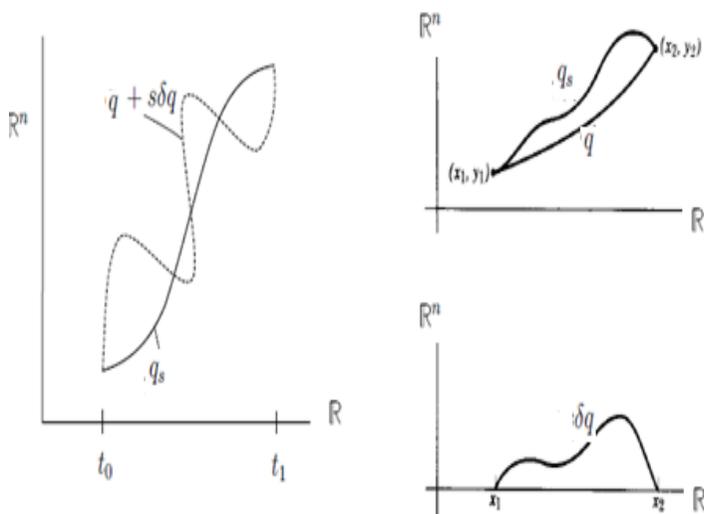
$$q(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$$

$$q(t): [t_0, t] \rightarrow \mathbb{R}^n \quad (2.1)$$

Terdapat suatu aksi (*action*)  $I$ , yaitu (2.2)

$$I := \int_{t_0}^t L(q, \dot{q}, t) dt \quad (2.3)$$

Tujuan dari penyelesaian permasalahan ini adalah untuk menentukan nilai minimal aksi  $I$  dengan nilai  $q(t)$  yang optimal. (**Gambar-2.2**)



**Gambar-2.2** Pemetaan sepanjang kurva  $q(t)$

Terdapat beberapa kemungkinan garis-garis terpendek untuk menghubungkan dua buah titik tersebut. Kurva-kurva tersebut disebut sebagai kurva-kurva yang dapat divariansi dan akan terdapat sangat banyak kemungkinan. Dapat dibuat suatu fungsi yang dapat mewakili berbagai jenis kurva tersebut, sebagai contoh adalah fungsi baru sebagai berikut  $q_s(t) = q(t) + \lambda \delta q_s(t)$  dengan  $\delta q_s(t)$  adalah suatu fungsi yang bernilai nol saat  $t_0$  dan  $t$  serta memiliki suatu fungsi yang kontinu pada daerah tersebut tapi secara umum merupakan suatu fungsi yang sembarang.  $q(t)$

adalah suatu fungsi yang ingin dicari titik optimalnya serta  $\lambda$  adalah suatu parameter sembarang. Suatu aksi baru yang mewakili fungsi-fungsi kurva tersebut dapat dituliskan  $I := \int_{t_0}^t L(q_s, \dot{q}_s, t) dt$  dan dapat dilihat di **Gambar-2.2** (untuk garis yang tidak putus-putus) akan minimum jika

$$\frac{d}{d\lambda} I(q_s)|_{s=0} = 0; \lambda = 0 \quad (2.4)$$

$$q_s(t) = q(t) + \lambda \delta q_s(t) = q(t) \quad (2.5)$$

$$\delta q_s: [t_0, t] \rightarrow \mathbb{R}^n \quad (2.6)$$

dengan

$$\delta q_s(t_0) = \delta q_s(t) = 0 \quad (2.7)$$

Maka didapatkan bahwa

$$\delta q_s = \frac{q_s - q}{\lambda} \equiv \frac{dq_s}{d\lambda} \quad (2.8)$$

sehingga untuk

$$\frac{d}{d\lambda} I(q_s) = \frac{d}{d\lambda} \int_{t_0}^t L(q_s, \dot{q}_s, t) dt \quad (2.9)$$

$$\frac{d}{d\lambda} \int_{t_0}^t L(q_s, \dot{q}_s, t) dt = \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial \dot{q}_s}{\partial \lambda} + \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} + \frac{\partial L}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial \lambda} \right) dt \quad (2.10)$$

$$\int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial \dot{q}_s}{\partial \lambda} + \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt = \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial^2 q_s}{\partial \lambda \partial t} + \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt \quad (2.11)$$

Untuk  $\int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial^2 q_s}{\partial \lambda \partial t} \right) dt$

$$\int u dv = uv - \int v du \quad (2.12)$$

$$\int_{t_0}^t \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \left( \frac{\partial^2 q_s}{\partial \lambda \partial t} \right) dt = \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \right) \left( \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) - \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} \right) dt \quad (2.13)$$

Sehingga dengan substitusi ke pers-11 didapatkan pers-14

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial^2 q_s}{\partial \lambda \partial t} + \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt \\ = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \Big|_{t_0}^t - \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} \right) dt + \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \frac{\partial^2 q_s}{\partial \lambda \partial t} + \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt \\ = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \delta q_s \Big|_{t_0}^t - \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} \right) dt + \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial q_s} \frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \right) dt \end{aligned} \quad (2.15)$$

dikarenakan

$$\delta q_s(t_0) = \delta q_s(t) = 0 \quad (2.16)$$

maka substitusi pers-9 ke pers-15 didapatkan

$$\frac{\partial q_s}{\partial \lambda} \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial L}{\partial q_s} - \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} \right) dt = \frac{d}{d\lambda} I(q_s) \quad (2.17)$$

$$\delta q_s \int_{t_0}^t \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} - \frac{\partial L}{\partial q_s} \right) dt = 0 \quad (2.18)$$

dengan syarat

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_s \partial t} - \frac{\partial L}{\partial q_s} = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \right) - \left( \frac{\partial L}{\partial q_s} \right) = 0$$

(2.20)

Jika dimisalkan suatu lintasan garis lurus berada pada bidang t-q dan panjang lintasan  $I$  memenuhi rumusan berikut

$$dI = \sqrt{dt^2 + dq^2} \quad (2.21)$$

$$I = \int \sqrt{dt^2 + dq^2} = \int \sqrt{1 + \dot{q}^2} dt = \int L(q, \dot{q}, t) dt \quad (2.22)$$

dengan Lagrangian adalah

$$L = \sqrt{1 + \dot{q}^2} \quad (2.23)$$

Menggunakan persamaan (2.20) didapatkan

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L(q, \dot{q}, t)}{\partial \dot{q}} \right) - \left( \frac{\partial L(q, \dot{q}, t)}{\partial q} \right) = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L(q, \dot{q}, t)}{\partial \dot{q}} \right) = \left( \frac{\partial L(q, \dot{q}, t)}{\partial q} \right) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial L(q, \dot{q}, t)}{\partial \dot{q}} = \frac{\partial \sqrt{1 + \dot{q}^2}}{\partial \dot{q}} = konst \quad (2.26)$$

$$\frac{\dot{q}}{\sqrt{1 + \dot{q}^2}} = konst \quad (2.27)$$

$$\dot{q} = konst \sqrt{1 + \dot{q}^2} \quad (2.28)$$

Dengan menyelesaikan persamaan  $\dot{q} = dq/dt$  maka didapatkan bahwa

$$q = mt + c \quad (2.29)$$

Persamaan (2.29) adalah persamaan garis lurus yang merupakan garis optimal

## 2.8 Pengertian uji regresi linear dan non linear

Menurut B. R. Dewy (1994) Gejala-gejala alam dalam fisika serta akibat atau faktor yang ditimbulkannya dapat diukur atau dinyatakan dengan dua kategori yaitu fakta atau data yang bersifat kuantitatif dan fakta atau data yang bersifat kualitatif. Dalam bab ini akan diuraikan masalah regresi dan korelasi, sebagai pengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam pembicaraan regresi dan korelasi data yang dianalisis harus bersifat kuantitatif atau terukur atau terhitung atau dapat dikuantitatifkan; jadi sekurang-kurangnya data dengan skala interval. Data kuantitatif dapat dibedakan atas dua macam yaitu: Data atau pernyataan yang bersifat bebas (sebagai sumbu-x) adalah pernyataan yang ditentukan dengan atau bebas pilih atau suka. Pernyataan ini sering disebut dengan variabel bebas atau variabel sumbu-x atau variabel *predictor* atau *independent variable*. Data atau pernyataan yang tergantung atau terikat pada variabel bebas disebut dengan variabel tak bebas (sumbu-y) atau variabel tergantung atau variabel sumbu-y atau variabel endogen atau kreterium atau *dependent variable*. Apakah perlunya mempelajari regresi dan korelasi? Tujuan mempelajari regresi dan korelasi adalah untuk menemukan atau mencari hubungan antar variabel, sebagai dasar untuk dapat dipakai melakukan penaksiran atau peramalan atau estimasi dari hubungan antar variabel tersebut.

Telah dinyatakan di atas bahwa regresi atau korelasi adalah metode yang dipakai untuk mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Kedua metode regresi maupun korelasi sama-sama dipakai untuk mengukur derajat hubungan antar variabel yang bersifat korelasional atau bersifat keterpautan atau ketergantungan. Penggunaan regresi adalah sebagai pengukur bentuk hubungan, dan korelasi adalah sebagai pengukur keeratan hubungan antar variabel. Kedua cara pengukur hubungan tersebut mempunyai cara perhitungan dan syarat penggunaannya masing-masing. Penjelasan mengenai perbedaan antara regresi dan

korelasi dalam pemakaiannya atau penerapannya terletak pada (B. R. Dewy , 1994) :

1. Regresi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan atau fungsi sebagai contoh adalah  $F(x)=x$ . Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi) diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang sering diberi simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol  $Y=F(x)$ . Pada regresi harus ada variabel yang ditentukan dan variabel yang menentukan atau dengan kata lain adanya ketergantungan variabel yang satu dengan variabel yang lainnya dan sebaliknya. Kedua variabel biasanya bersifat kausal atau mempunyai hubungan sebab akibat yaitu saling berpengaruh. Sehingga dengan demikian, regresi merupakan bentuk fungsi tertentu antara variabel tak bebas Y dengan variabel bebas X atau dapat dinyatakan bahwa regresi adalah sebagai suatu fungsi  $Y = f(X)$ . Bentuk regresi tergantung pada fungsi yang menunjangnya atau tergantung pada persamaannya.
2. Korelasi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan derajat keeratan atau tingkat hubungan antar variabel-variabel. Mengukur derajat hubungan dengan metode korelasi yaitu dengan koefisien korelasi  $r$ . Dalam hal ini, dengan tegas dinyatakan bahwa dalam analisis korelasi tidak mempersoalkan apakah variabel yang satu tergantung pada variabel yang lain atau sebaliknya. Jadi metode korelasi dapat dipakai untuk mengukur derajat hubungan antar variabel bebas dengan variabel bebas yang lainnya atau antar dua variabel. Penelitian korelasi adalah penelitian yang melihat hubungan antara variabel. Dua atau lebih variabel diteliti untuk melihat hubungan yang terjadi diantara mereka tanpa coba untuk merubah atau mengadakan perlakuan terhadap variabel-variabel tersebut.

### 2.8.1 Jenis-Jenis Regresi

Telah disebutkan di sub bab 4.1 bahwa regresi adalah bentuk hubungan antara variabel bebas X dengan variabel tak bebas (ikat) Y, yang dinyatakan dalam bentuk fungsi matematis  $Y = f(X)$ . Sehingga persamaan regresi atau bentuk fungsi, sesuai dengan variabel bebas X yang menyusunnya. Dengan demikian bentuk fungsi atau regresi dapat digolongkan menjadi beberapa macam yaitu:

#### 1. Regresi linier

ialah bentuk hubungan di mana variabel bebas X maupun variabel tergantung Y sebagai faktor yang berpangkat satu. Regresi linear dibedakan menjadi : regresi linear sederhana dan regresi linear berganda. Regresi linear sederhana memiliki fungsi garis lurus  $y = mx + c$ , sedangkan regresi linear berganda memiliki fungsi  $y = mx + c + m'x' + c'$ . Physics Laboratory Manual University of Wyoming (1994)

#### 2. Regresi non linear

Physics Laboratory Manual University of Wyoming (1994) Regresi non linier ialah bentuk hubungan atau fungsi di mana variabel bebas X dan atau variabel tak bebas Y dapat berfungsi sebagai faktor atau variabel dengan pangkat tertentu. Selain itu, variabel bebas X dan atau variabel tak bebas Y dapat berfungsi sebagai penyebut (fungsi pecahan), maupun variabel X dan atau variabel Y dapat berfungsi sebagai pangkat fungsi eksponen, fungsi perpangkatan (polinomial), sinusoidal dan logaritma

### 2.8.2. Korelasi

Tingkat atau derajat keeratan hubungan dapat diukur dengan memakai koefisien korelasi dengan simbol **r** untuk hubungan linier sederhana dan indeks korelasi dengan simbol **R** untuk hubungan bukan linier sederhana. Koefisien korelasi **r** dipakai hanya untuk menyatakan keeratan hubungan yang bersifat linier sederhana, sedangkan indeks korelasi **R** untuk menyatakan

keeratan hubungan dari bentuk-bentuk linier berganda dan bentuk non linier. Indeks korelasi  $R$  sering disebut juga koefisien korelasi berganda. Apabila  $r$  dan  $R$  dikuadratkan akan memberikan suatu nilai tertentu yaitu  $r^2$  atau  $R^2$  yang kadang-kadang nilai  $r^2$  atau  $R^2$  keduanya diberi simbol yang sama yaitu  $R^2$  atau  $D$ . Kedua nilai  $D$  atau  $R^2$  disebut koefisien determinasi atau koefisien penentu.

### 2.8.3. Regresi Linear Sederhana

Telah dijelaskan di sub bab 4.2 bahwa regresi membicarakan bentuk hubungan atau fungsi antara dua variabel atau lebih. Perlu ditekankan bahwa dalam bentuk hubungan tersebut terdapat sebuah variabel tak bebas  $Y$ , dengan sekurang-kurangnya sebuah variabel bebas  $X$ . Untuk mendapatkan bentuk hubungan yang sesuai antara variabel bebas  $X$  dengan variabel tak bebas  $Y$  maka kedua variabel tersebut harus dinyatakan dalam nilai yang terukur atau kuantitatif sekurang-kurangnya dengan skala interval.

Apabila hubungan antara dua variabel atau lebih bersifat kausal atau hubungan sebab-akibat, maka variabel yang sebagai sebab merupakan variabel bebas atau variabel  $X$  dan akibat yang ditimbulkannya menjadi variabel tak bebas atau variabel  $Y$ . Setelah dapat ditentukan variabel  $X$  dan variabel  $Y$ , maka selanjutnya perlu menentukan pola hubungan atau bentuk hubungan yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsionalnya  $y=f(x)=mX+C$  ( $m$  adalah kemiringan atau gradient dan  $C$  adalah koefisien irisan atau *intercept*) Sehingga segala analisis statistika yang berkaitan dengan hal tersebut dinamakan dengan analisis regresi. Tujuan utama dari analisis regresi adalah untuk memberikan dasar-dasar peramalan atau pendugaan. Analisis regresi sebagai alat untuk melakukan peramalan atau prediksi atau estimasi atau pendugaan yang sangat berguna bagi para pembuat keputusan. Untuk membuat ramalan antara variabel  $X$  dengan variabel  $Y$ , maka variabel  $X$  dan variabel  $Y$  tersebut harus mempunyai hubungan

yang kuat. **Kuat tidaknya hubungan antara variabel bebas X dan variabel tak bebas Y** didasarkan pada analisis korelasi. Jadi antara analisis korelasi dan analisis regresi mempunyai kaitan yang sangat erat. (B. R. Dewy, 1994)

#### 2.8.4. Pengujian Garis Regresi Sederhana dengan Excel

Dalam sebuah penelitian untuk menguji apakah instrument yang diajukan valid dan reliabel, maka akan dilakukan pengujian melalui uji validitas dan uji reliabilitas. Berkaitan dengan pengujian validitas instrumen, B. R. Dewy (1994) menjelaskan bahwa validitas adalah suatu ukuran yang dapat menunjukkan tingkat keandalan atau kesahihan suatu alat ukur (*instrument*). Alat ukur yang kurang valid berarti memiliki validitas rendah. Untuk menguji validitas atau alat ukur tersebut, terlebih dahulu dicari harga korelasi antara bagian-bagian dari alat ukur. Pengujian validitas suatu instrument dapat digunakan **uji korelasi r**, **uji F** dan **uji t**. Untuk membandingkan nilai thitung yang diperoleh, lihat distribusi (tabel t) dengan  $\alpha = 0.005$  dan derajat kebebasan ( $dk = n - 2$ ). Adapun kaidah keputusan yang dipakai adalah sebagai berikut

- a. Jika nilai  $t_{hitung} > t_{tabel}$  berarti valid dan reliabel.
- b. Jika nilai  $t_{hitung} < t_{tabel}$  berarti tidak valid dan unreliabel.

B. R. Dewy (1994) menjelaskan bahwa untuk membuktikan bahwa garis regresi yang diperoleh tersebut merupakan garis regresi yang terbaik untuk menghampiri setiap titik-titik pengamatan X,Y. maka garis regresi penduga  $\hat{Y} = C + m X$  nyata secara statistika, perlu dilakukan pengujian keberartiannya menggunakan tiga cara yaitu:

- 1).Uji ragam regresi atau uji F regresi;
- 2).Uji koefisien regresi dengan uji-t;
- 3) Uji **r** garis regresi;

**Untuk uji r**

Berdasarkan hasil uji  $r_{hit} = \sqrt{R^2} \sqrt{\frac{n-2}{1-R^2}}$  ternyata bahwa kriteria

pengujian nilai r hitung adalah:

- 1). Jika  $r_{hitung} < r(\text{tabel } 5\%, \text{ db galat}=n-2)$  Hal ini dapat dikatakan bahwa tidak terdapat hubungan linier atau korelasi sederhana antara variable yang satu dengan variabel yang lainnya.
- 2). Jika  $r_{hitung} > r(\text{tabel } 5\%, \text{ db galat}=n-2)$  Hal ini dikatakan bahwa tolak  $H_0$ , yang berarti bahwa terdapat hubungan linier atau korelasi sederhana antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya. Arti dari pada koefisien determinasi atau koefisien penentu ( $R^2$ ) adalah suatu nilai yang menunjukkan bahwa persentase dari variasi keragaman total Y atau variasi Y yang dapat diterangkan oleh variasi X. Atau sering diartikan bahwa koefisien determinasi  $R^2$  adalah persentase dari variabel tak bebas Y yang dipengaruhi oleh variabel bebas X. Sisanya  $1 - R^2$  yang menunjukkan persentase dari variasi total atau variabel Y yang disebabkan oleh faktor lain diluar X atau variabel selain X

### **Untuk uji t**

Berdasarkan hasil uji t untuk nilai  $r$  ternyata bahwa kriteria pengujian adalah: 1). Jika  $t_{hitung} < t(\text{tabel } 5\%, \text{ db galat})$ . Hal ini dapat dikatakan bahwa tidak terdapat hubungan atau korelasi antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya.

- 2). Jika  $t_{hitung} > t(\text{tabel } 5\%, \text{ db galat})$ . Hal ini dikatakan bahwa tolak  $H_0$ , yang berarti bahwa terdapat hubungan atau korelasi antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya.

### **Untuk uji F**

Kriteria pengujian nilai  $F_{hitung}$  sama seperti pengujian-pengujian di atas, sehingga kriteria pengujian adalah: 1). Jika  $F_{hit} < F(\text{tabel } 5\%)$ . Hal ini berarti bahwa garis regresi penduga ( $\hat{Y}$ ) linier sederhana yang didapat tersebut bukan garis regresi yang terbaik.

2). Jika  $F_{hit} > F(\text{tabel } 5\%)$ . Hal ini berarti bahwa terdapat hubungan linier yang nyata ( $p = 0,05$ ), bahwa terdapat pengaruh antara variabel X terhadap variabel tak bebas Y.

Pada sub bab ini akan dijelaskan melalui suatu kasus contoh pengujian sederhana untuk memvalidasi instrumen alat ukur dengan hasil Excel. Menu di Excel akan menghasilkan **Gambar-1** di bawah

#### 1 Summary Output Excel

Table 2.7 Regression Statistics

Multiple R	0.8974
R Square	0.8054
Adjusted R Square	0.7904
Standard Error	0.1909
Observations	15

Table 2.8 ANOVA

	SV	DB	SS	MS	F	Significance F
Regression		1	2.9602	2.9602	53.8037	0.0000
Residual		13	0.4736	0.0364		
Total		14	2.4338			

Table 2.9 Parsial Regression

Var	Coefficients	Standart Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 99.0%	Upper 99.0%
Intercept	-0.95776	0.27785	-3.4470	0.00433	-2.55803	-0.35750	-2.79474	-0.12079
X1	0.16893	0.02303	7.3351	0.00001	0.11918	0.21868	0.09956	0.23830

**Gambar.2.3** Hasil Output Excel

**Multiple R** adalah sama dengan koefisien korelasi **uji r** yang menunjukkan keeratan hubungan antara variabel bebas X dengan variabel tak bebas Y yaitu sebesar 0,8974. **Uji r** hitung = 7.0456 > **r** tabel 5% = 2,179. Hal ini dapat dikatakan bahwa tolak  $H_0$  yang berarti bahwa terdapat hubungan atau korelasi yang sangat erat antara variabel X dengan variabel Y.

**R Square** adalah sama dengan koefisien determinasi  $R^2$  yang menunjukkan variasi keragaman total Y yang dapat diterangkan

oleh variasi variabel X, atau dapat diartikan bahwa 80,54% dari variabel tak bebas Y dipengaruhi oleh variabel bebas X.

**Pada Tabel Anova** adalah persis sama dengan Sidik Ragam Regresi. Di mana SV = Sumber Variasi (SV) atau Sumber Keragaman (SK); DF = Degrees of Freedom atau = Derajat Bebas (DB); SS = Sum of Squares atau = JK; MS = Means Squares atau KT; F = F-hitung

**Uji F** nilai significance  $F < (p = 0,05)$  mempunyai kesimpulan yang sama dengan  $F_{hit} > F(tabel\ 5\%)$ ; hal ini berarti tolak  $H_0$  yang menyatakan bahwa garis regresi penduga ( $\hat{Y}$ ) linier sederhana yang didapat tersebut adalah garis regresi yang terbaik untuk menerangkan bahwa variabel bebas X berpengaruh nyata terhadap variabel tak bebas Y. (valid dan reliabel)

#### **Uji t pada daerah intercept $C$**

Apabila nilai P-value  $< (p = 0,05)$  mempunyai kesimpulan yang sama dengan  $t_{hit} > t(tabel\ 5\%)$ ; hal ini berarti tolak  $H_0$  yang menyatakan bahwa garis regresi penduga (Y) linier sederhana tidak melalui titik acuan (0,0), bermakna bahwa terdapat persamaan  $y = mx + C$  (valid dan reliabel)

#### **Uji t pada daerah gradien $m$**

Apabila nilai P-value  $< (p = 0,05)$  mempunyai kesimpulan yang sama dengan  $t_{hit} > t(tabel\ 5\%)$ ; hal ini berarti tolak  $H_0$  yang menyatakan bahwa garis regresi penduga (Y) linier sederhana tidak sejajar/paralel dengan sumbu X dengan slop atau kemiringan sama dengan  $m$ . (valid dan reliabel)