

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Angin merupakan massa udara yang bergerak secara horizontal maupun vertikal dengan kecepatan yang bervariasi serta dapat berfluktuasi secara dinamis. Faktor yang menyebabkan massa udara bergerak adalah adanya perbedaan tekanan udara, udara akan bergerak dari suatu daerah yang bertekanan tinggi menuju daerah yang bertekanan rendah. Sinar matahari merupakan faktor penyebab perbedaan tekanan udara, daerah yang cenderung terkena sinar matahari tentu akan bertemperatur lebih tinggi dibandingkan daerah yang minim terkena sinar matahari secara langsung.

Energi angin merupakan salah satu energi yang baik dan ramah lingkungan untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Energi angin dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Namun dalam pemanfaatannya turbin angin memerlukan perawatan pada masing – masing elemennya, salah satu elemen terpenting yang memerlukan perawatan adalah bagian *gearbox*. Di dalam gearbox terdapat roda gigi yang fungsinya sangat penting untuk memindahkan putaran (daya putar) dari suatu poros dan meningkatkan kecepatan rotasi yang diperlukan generator untuk menghasilkan listrik.

Karena fungsinya yang sangat vital, roda gigi memerlukan strategi monitoring yang tepat sehingga dapat mengidentifikasi kerusakan secara cepat dan tepat. Salah satu metode yang sering diterapkan adalah *monitoring* menggunakan sinyal getaran *Time Synchronous Averaging*. Beberapa pengujian dengan menggunakan metode TSA pernah diterapkan untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi.

Widodo, (2015) melakukan penelitian untuk mendeteksi kerusakan roda gigi. Roda gigi dalam proses meneruskan daya dari motor menggunakan mekanisme kontak antar roda gigi dengan gigi – gigi pinion, tentu diharapkan tidak ada slip selama proses transmisi daya berlangsung. Maka deteksi dini kerusakan roda gigi ini

diperlukan untuk mengurangi kerugian kerusakan yang bersifat katastropik. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik kerusakan menggunakan metode analisis sinyal getaran *time synchronous averaging* (TSA). Data akuisisi getaran dilakukan pada putaran 1000 rpm, dengan variasi kerusakan roda gigi yang berbeda. Hasilnya, sinyal TSA akan menampilkan sinyal asli karena noise yang muncul telah direduksi dan metode ini dapat menentukan lokasi relatif dari cacat roda gigi berdasarkan sudut putarnya.

Rif'an, Widodo dan Satrijo, (2014) melakukan penelitian menggunakan sinyal getaran untuk deteksi kerusakan pada roda gigi dengan menemukan sumber kerusakan roda gigi. Metode ini dilakukan dengan menggunakan alat *test-rig gearbox*. Roda gigi yang diuji adalah roda gigi kecil (pinion) dengan empat variasi kondisi yaitu normal, aus, patah setengah gigi dan patah satu gigi. Perbandingan gearbox yang digunakan yaitu 1:2. Data diambil dengan putaran poros roda gigi konstan 2000 rpm. Kondisi getaran dianalisa menggunakan FFT analisis, wavelet transform dan *time synchronous averaging* untuk mereduksi getaran selain dari alat uji. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh paduan antara frekuensi, amplitudo dan waktu untuk roda gigi normal memiliki amplitudo paling kecil yaitu 0,001 volt. Sementara roda gigi patah satu gigi memiliki amplitudo terbesar yaitu 0,21 volt.

Bravo-imaz, dkk. (2017) melakukan analisis yang berfokus pada diagnosis kerusakan pada gearbox saat terjadi transisi kecepatan. Dua strategi yang berbeda dievaluasi, secara ekstensif diuji dan dibandingkan. Analisa sinyal diukur dan dianalisis menggunakan *wavelet decomposition* dalam tingkat dekomposisi yang berbeda. TSA akan mengekstrak bentuk gelombang periodik dari *noisy signals*. Kedua metode digunakan untuk melakukan analisis data dari tiga kondisi roda gigi yang berbeda. Hasilnya, kedua metode sangat mudah menentukan kondisi roda gigi namun penggunaan metode TSA lebih baik dalam menentukan kondisi roda gigi yang masih baik untuk digunakan dan kondisi roda gigi yang mengalami kerusakan.

Ha, dkk. (2016) melakukan penelitian dengan mengusulkan autocorrelation-based time synchronous averaging (ATSA) untuk mengatasi masalah yang dihadapi TSA saat monitoring roda gigi pada *planetary gearbox*. ATSA disini dicoba untuk diterapkan karena memiliki kelebihan diantaranya, pengolahan TSA akan lebih hemat data dan pencegahan sinyal distorsi selama proses TSA. Dengan demikian sinyal ATSA diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi diagnosa kerusakan roda gigi pada *planetary gearbox*. Dua studi kasus disajikan, analisis sinyal dari simulasi dan sinyal yang diukur melalui testbed sebesar 2 kW. Hasilnya, pemrosesan sinyal dengan ATSA menunjukkan keefektifan dalam analisis dalam setiap kondisi roda gigi dan dapat ditingkatkan secara signifikan dibandingkan metode konvensional TSA.

Bechhoefer dan Kingsley, (2009) menerapkan metode TSA untuk mengukur pengurangan kebisingan (*noise*) dan menganalisa kerusakan roda gigi. Pengujian dilakukan dalam 32 indikator kondisi dan kondisi roda gigi, dengan 16 roda gigi tidak mengalami kerusakan dan 16 roda gigi rusak. Maka dalam pengujian ini didapatkan hasil yang merupakan analisis teknik dari TSA, diantaranya ditemukan adanya sensitifitas yang besar saat ditemukan adanya kerusakan pada roda gigi namun *noise* yang muncul akan berkurang pada analisis TSA.

Dari beberapa penelitian tersebut hanya menerapkan metode *Time Synchronous Averaging* pada kerusakan roda gigi selain pada turbin angin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menerapkan metode TSA pada roda gigi turbin angin untuk dapat mereduksi *noise* yang muncul pada saat analisis kerusakan roda gigi pada turbin angin. Harapannya dengan diterapkannya metode TSA maka sinyal getaran yang muncul saat deteksi kerusakan roda gigi pada turbin angin merupakan sinyal asli karena *noise* yang muncul telah direduksi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Turbin angin

Turbin angin atau dikenal juga dengan kincir angin pada awal pembuatannya ditujukan untuk kebutuhan para petani di Eropa, mulai banyak dibangun di wilayah Belanda, Denmark dan wilayah yang memiliki potensi sumber daya anginnya cukup besar. Turbin angin menerapkan prinsip konversi energi sehingga digunakan masyarakat untuk mengakomodasi kebutuhan listrik. Turbin angin dapat menghasilkan energi listrik karena adanya energi kinetik yang dirubah menjadi energi gerak, energi gerak sendiri berasal dari angin.

Cara kerja dari turbin angin sangat sederhana, memanfaatkan energi angin yang diubah menjadi gerak putar. Namun cara kerjanya berbeda dengan kipas angin yang justru menggunakan listrik untuk menghasilkan angin, melainkan energi angin yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Angin yang bergerak kemudian akan memutar sudu yang diteruskan oleh poros untuk memutar rotor pada generator. Generator kemudian mengubah energi gerak putar menjadi energi listrik dengan prinsip teori medan elektromagnetik.

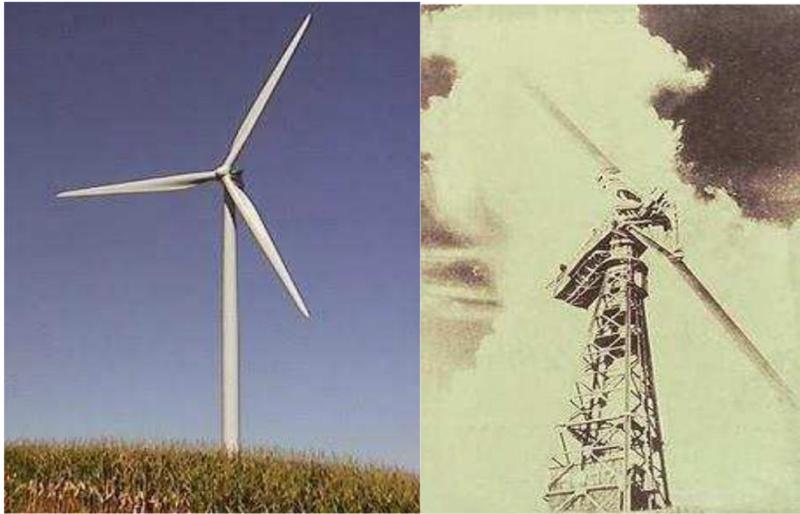
2.2.2 Jenis turbin angin

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

Turbin angin sumbu *Horizontal* (HAWT) memiliki sudu yang berputar dalam bidang *horizontal*, seperti *propeler* pesawat terbang. Turbin angin tipe *horizontal* mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari pada aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi pada sisi depan sudu. Perbedaan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Turbin Angin Sumbu *Horizontal* (HAWT) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah

baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang dihubungkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran turbin yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Turbin ini terlihat seperti pada gambar 2.1 dibawah ini.



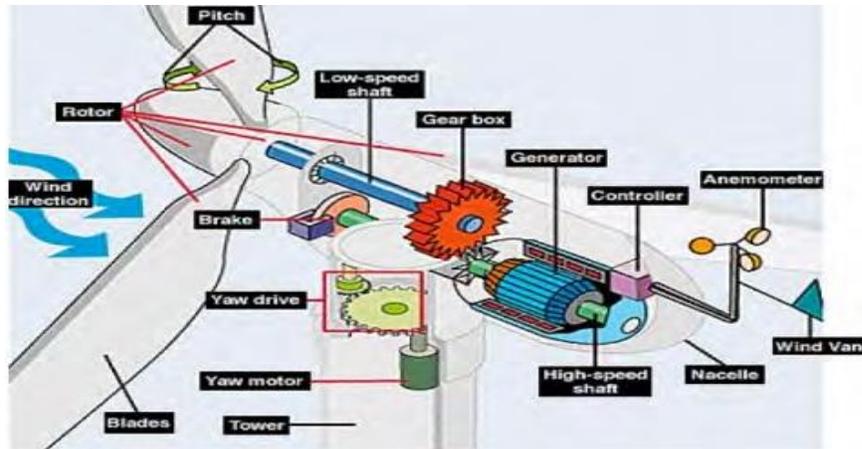
Gambar 2 1 Turbin Angin (HAWT)
Sumber : <https://id.wikipedia.org>, 2016.

2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

Turbin jenis ini memiliki bilah yang memanjang dari atas ke bawah. Turbin yang paling umum dijumpai dan sering digunakan adalah turbin angin Darrieus. Dinamai Darrieus karena sesuai dengan nama pembuatnya yaitu seorang insinyur dari Perancis yang bernama Georges Darrieus. Desain dari turbin jenis ini dipatenkan pada tahun 1931 oleh Georges Darrieus. Tinggi dari turbin angin sumbu *Vertikal* biasanya berdiri 100 meter dari permukaan tanah dengan lebar lebih kurang 15 Meter. Turbin jenis ini memiliki porsi yang masih kecil dalam penggunaannya di kalangan masyarakat. Ada berbagai jenis turbin angin tipe VAWT yang sering digunakan diantaranya adalah Tipe *Savonius*, Tipe *Darrieus*, dan Tipe H-Rotor.

2.2.3 Komponen utama turbin angin sumbu *horizontal*

Turbin angin sumbu horizontal memiliki komponen pendukung agar dapat beroperasi secara maksimal dan menghasilkan energi listrik. Berikut beberapa komponen yang terdapat pada turbin angin sumbu horizontal pada gambar 2.2. :



Gambar 2.2 Komponen Turbin Angin

Sumber : [http:// getstpln.com/2014/03/komponen-pltb.html](http://getstpln.com/2014/03/komponen-pltb.html)

1. Rotor

Rotor adalah tempat pisau turbin (*blade*) berada. *Blade* pada rotor mempunyai bentuk yang aerodinamis. Ketika angin menabrak *blade*, maka *blade* akan memutar poros yang terhubung ke generator. *Blade* harus kuat, ringan dan tahan lama. Biasanya *blade* dibuat dari komposit *fiberglass* yang diperkuat plastik atau kayu.

2. *Brake*

Brake atau rem dalam turbin angin biasanya bekerja sebagai sistem penghentian dari kinerja turbin saat dilakukan perawatan dan saat penggantian komponen yang rusak.

3. Poros

Poros termasuk transmisi pada bagian turbin angin yang berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi pada *gearbox*.

4. *Gearbox*

Gearbox merupakan sistem transmisi turbin angin yang berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator dengan dipercepat putarannya. Hal ini diperlukan karena umumnya putaran rotor berotasi pada putaran rendah, sementara generatornya bekerja pada putaran tinggi.

5. Generator

Generator berfungsi untuk membangkitkan listrik. Ketika terjadi putaran maka akan menyebabkan perubahan fluks medan magnet sehingga membangkitkan gaya gerak listrik. Listrik yang dihasilkan berupa *Direct Current* (DC) atau *Alternating Current* (AC). Pada skala kecil biasanya generator menghasilkan arus AC dan disimpan ke baterai.

6. *Yaw System*

Yaw system berfungsi sebagai penyeimbang turbin. *Yaw system* akan mengarahkan rotor tegak lurus dengan arah angin. Untuk sistem kecil biasanya dengan menambahkan ekor pada turbin.

7. Sistem Peringatan dan Kendali

Digunakan untuk melindungi sistem turbin angin. Sistem berupa regulator baterai, pengendali *yaw system*, *sikring* pada *inverter*, dan lain – lain. Biasanya sistem ini berada pada ruang kendali.

8. Nacelle

Komponen ini memiliki fungsi sebagai pelindung komponen yang berada di dalam turbin angin. *Nacelle* biasanya terbuat dari bahan komposit.

9. Anemometer

Anemometer adalah alat pengukur kecepatan angin. Selain mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin.

10. Penyangga Turbin Angin (Tower)

Pada turbin angin modern, tinggi *tower* biasanya mencapai 40 – 60 meter. *Tower* dapat dibedakan menjadi bentuk *tubular* dan bentuk *lattice* seperti gambar di bawah. Keuntungan dari bentuk *tubular* yaitu aman, sedangkan *lattice* mempunyai biaya yang murah.

2.2.4 Metode perawatan

Perawatan mesin merupakan kegiatan yang sangat diperlukan dalam kegiatan produksi untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya.

Perawatan dilakukan untuk melakukan perbaikan yang bersifat kualitas, meningkatkan suatu kondisi ke arah yang lebih baik. Banyaknya pekerjaan perawatan yang dilakukan tergantung pada:

- a. Batas kualitas terendah yang diijinkan dari suatu komponen. Sedang batas kualitas yang lebih tinggi dapat dicapai oleh pekerjaan perawatan.
- b. Waktu atau lamanya pemakaian yang menyebabkan berkurangnya kualitas peralatan. Diantaranya komponen (peralatan) yang terkena tekanan., beban pakai, kondisi dan pengaruh lainnya yang menimbulkan menurunnya kualitas, sehingga kemampuan komponen berkurang.

Pada penerapannya, perawatan memerlukan teknik dari ilmu pengetahuan dan prinsip – prinsip dasar perawatan yang bertujuan untuk menjaga kondisi suatu mesin dalam kondisi sempurna.

Ada dua kebijakan perawatan yang umum dikenal di dunia industri, yaitu perawatan kerusakan (*break down maintenance*) dan perawatan pecegahan (*preventive maintenance*).

1. Perawatan Kerusakan (*break down maintenance*)

Perawatan kerusakan diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin atau peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian diperbaiki. Kebijakan ini merupakan strategi perawatan yang sangat kasar dan kurang tepat karena dapat menimbulkan biaya perawatan yang tinggi, kehilangan keuntungan karena terhentinya mesin, keselamatan kerja tak terjamin, kondisi mesin tidak diketahui dan tidak dapat merencanakan waktu, tenaga kerja serta biaya. Strategi perawatan ini kurang sesuai untuk mesin – mesin tingkat kritis yang sangat tinggi namun sesuai untuk mesin – mesin yang sederhana dimana tidak memerlukan perawatan secara intensif.

2. Perawatan Pencegahan

Perawatan pencegahan ini terdiri atas:

a. perawatan terjadwal (*schedule maintenance*)

Perawatan terjadwal ini merupakan bagian perawatan pencegahan yang bertujuan mencegah terjadinya kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodik dalam rentang waktu tertentu, strategi perawatan ini juga biasa disebut *time based maintenance*.

b. perawatan prediktif (*predictive maintenance*)

Perawatan dengan metode ini merupakan strategi perawatan yang pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri. Untuk menentukan kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika terdapat tanda kerusakan segera diambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Metode perawatan ini biasa disebut perawatan berdasarkan kondisi (*condition based maintenance*) atau disebut juga monitoring kondisi mesin (*machinery conditioning monitoring*).

2.2.5 Condition based maintenance (CBM)

Condition based maintenance digunakan untuk melakukan perawatan peralatan yang benar di saat yang tepat, CBM didasarkan oleh pemakaian secara *real time data*

untuk memprioritaskan dan mengoptimalkan sumber daya perawatan. Pengamatan pada saat proses dilakukan, dikenal dengan *condition monitoring*. Penggunaannya memungkinkan perawatan dijadwalkan, atau tindakan lain yang harus diambil untuk menghindari konsekuensi kegagalan, sebelum terjadi kegagalan. Namun, penyimpangan dari nilai referensi (misalkan suhu atau perilaku getaran) harus terjadi untuk mengidentifikasi kerusakan mengambat.

Condition based maintenance merupakan jenis perawatan dengan metode pemantauan kondisi suatu komponen, maka dari itu jenis perawatan ini memiliki keunggulan diantaranya:

- a. peningkatan kendala sistem
- b. mengurangi biaya pemeliharaan
- c. breakdown tak terduga berkurang atau bahkan hilang

2.2.6 Jenis – jenis *condition based maintenance* (CBM)

Condition based maintenance memiliki beberapa metode yang digunakan dalam pemantauan kondisi suatu komponen, diantaranya:

1. *Vibration Analysis*

Vibration analysis (analisa getaran) banyak diterapkan pada suatu peralatan yang berputar (*rotating equipment*) seperti kompresor, pompa, motor dan semua yang menunjukkan tingkat getaran tertentu. Saat peralatan tersebut mengalami penurunan performa, maka jumlah getaran yang dihasilkan meningkat. *Vibration analysis* dapat diterapkan untuk mendeteksi saat jumlah getaran yang dihasilkan meningkat.

2. *Thermography*

Infrared thermography telah banyak digunakan dalam 10 tahun terakhir karena peralatan yang mudah digunakan dan memiliki tingkat keefektifan yang tinggi. *Thermography* dapat melakukan pemantauan sebelum munculnya masalah dan menentukan lokasi munculnya kerusakan dengan cepat. Hasil pemantauan akan ditampilkan secara visual, sehingga akan memudahkan manajemen perawatan yang akan diterapkan.

3. *Oil Analysis*

Proses analisis spektrometrik minyak (*spectrometric oil analysis process*) merupakan teknik dalam dalam laboratorium yang menggunakan berbagai instrumen untuk menganalisis oli bekas dari mesin. Sebuah spektrometer digunakan untuk menunjukkan kapan terjadinya aus yang signifikan sedang berlangsung. Analisis ini tidak hanya menunjukkan adanya keausan, tetapi juga memungkinkan menentukan lokasi keausan pada mesin. Dengan analisis ini, maka dapat dilakukan tindakan yang tepat untuk mencegah kerusakan.

2.3 Roda Gigi

2.3.1 Pengertian roda gigi

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi – gigi kedua roda gigi yang saling berkaitan. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi lainnya, selain itu roda gigi juga memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya.

Roda gigi harus memiliki perbandingan kecepatan sudut tetap antara dua poros. Disamping itu terdapat pula roda gigi yang perbandingan kecepatan sudutnya dapat bervariasi. Dalam teori, roda gigi pada umumnya dianggap sebagai benda keras/kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk dalam jangka waktu lama.

2.3.2 Klasifikasi roda gigi

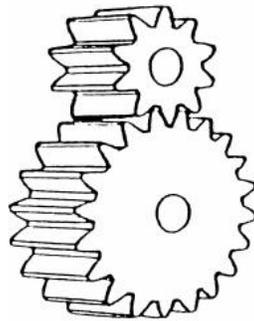
Menurut letak poros, arah putaran dan bentuk jalur gigi, roda gigi diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Roda Gigi Dengan Poros Sejajar

Roda gigi jenis ini memiliki gigi yang berjajar pada dua bidang silinder (jarak bagi lingkaran), kedua bidang tersebut bersinggungan dan yang satu menggelinding pada yang lain dengan sumbu yang tetap sejajar.

a. Roda Gigi Lurus

Roda gigi lurus merupakan roda gigi paling dasar dengan jalur gigi yang sejajar poros. Pembuatannya paling mudah, tetapi menghasilkan gaya aksial sehingga cocok dipilih untuk gaya keliling besar. Roda gigi lurus memiliki sifat bising pada putaran tinggi. Dapat di lihat pada gambar 2.3.



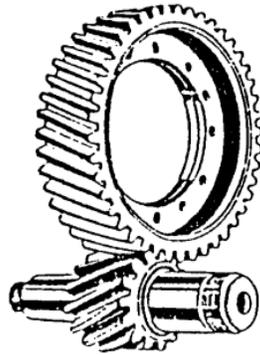
Gambar 2.3. Roda Gigi Lurus

Sumber : <http://teknikmesin.org/jenis-jenis-roda-gigi-lurus/>

b. Roda Gigi Miring

Roda gigi miring memiliki jalur gigi yang berbentuk ulir pada jarak bagi lingkaran. Pada roda gigi miring, jumlah pasangan gigi saling membuat perbandingan kontak yang lebih besar daripada roda gigi lurus, sehingga pemindahan putaran dapat berlangsung dengan halus, cocok untuk mentransmisikan putaran tinggi dan beban besar.

Roda gigi miring memerlukan kotak roda gigi yang lebih kokoh, karena jalur gigi yang berbentuk ulir tersebut menimbulkan gaya reaksi yang sejajar dengan poros, seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



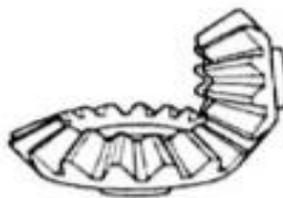
Gambar 2.4. Roda Gigi Miring
 Sumber : <http://teknikmesin.org/roda-gigi-miring/>

2. Roda Gigi Dengan Sumbu Berpotongan

Bentuk dasarnya adalah dua buah kerucut dengan puncak gabungan yang saling menyinggung meniru sebuah garis lurus.

a. Roda Gigi Kerucut Lurus

Roda gigi kerucut lurus dengan gigi lurus adalah yang paling banyak di buat dan paling sering digunakan tetapi sangat berisik karena perbandingan kontak nya sangat kecil. Konstruksi tidak memungkinkan pemasangan bantalan pada kedua ujung poros – porosnya, seperti pada gambar 2.5.



(f) Roda gigi kerucut lurus

Gambar 2.5. Roda Gigi Kerucut Lurus

Sumber : <https://guruinsight.wordpress.com/2015/09/17/membuat-ulir-dan-roda-gigi-cacing>

b. Roda Gigi Kerucut Spiral

Roda gigi kerucut spiral mempunyai perbandingan kontak yang lebih besar dari pada roda gigi kerucut lurus, sehingga dapat meneruskan putaran tinggi dan beban besar. Sudut poros roda gigi kerucut spiral biasanya di buat 90 Derajat, seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Roda Gigi Kerucut Spiral

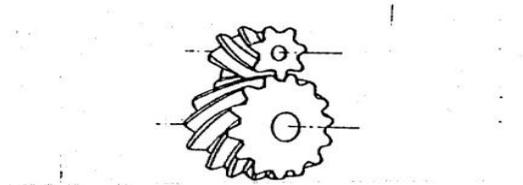
Sumber : <https://guruinsight.wordpress.com/2015/09/17/membuat-ulir-dan-roda-gigi-cacing/>

3. Roda Gigi Poros Bersilang

Bentuk dasarnya ialah dua buah silinder atau kerucut yang letak porosnya saling bersilangan satu sama lain.

a. Roda Gigi Miring Silang

Roda gigi miring silang mempunyai perbandingan bidang kontak yang besar sehingga cocok mentransmisikan putaran tinggi, lihat pada gambar 2.7.

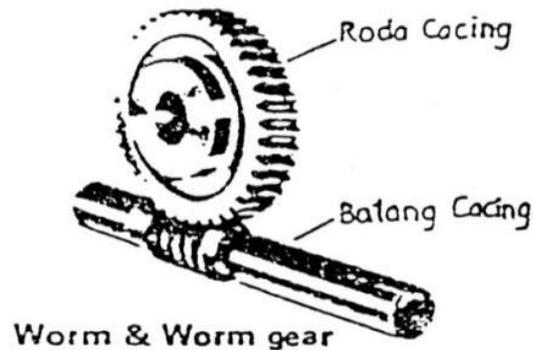


Gambar 2.7. Roda Gigi Miring Silang

Sumber : <https://yoshimoriee.wordpress.com/2013/11/04/macam-macam-roda-gigi>

b. Roda Gigi Cacing Silindris

Roda gigi cacing silindris dapat meneruskan putaran dengan perbandingan reduksi yang besar namun berisik pada putaran tinggi, lihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Roda Gigi Cacing Silindris

Sumber : [http:// automationindo.com/article/302/penyempurnaan-gear](http://automationindo.com/article/302/penyempurnaan-gear)

c. Roda Gigi hypoid

Roda gigi hypoid mempunyai jalur gigi yang berbentuk spiral pada bidang kerucut yang sumbunya bersilang dan pemindahan daya pada permukaan gigi berlangsung secara meluncur dan menggelinding, lihat pada gambar 2.9.

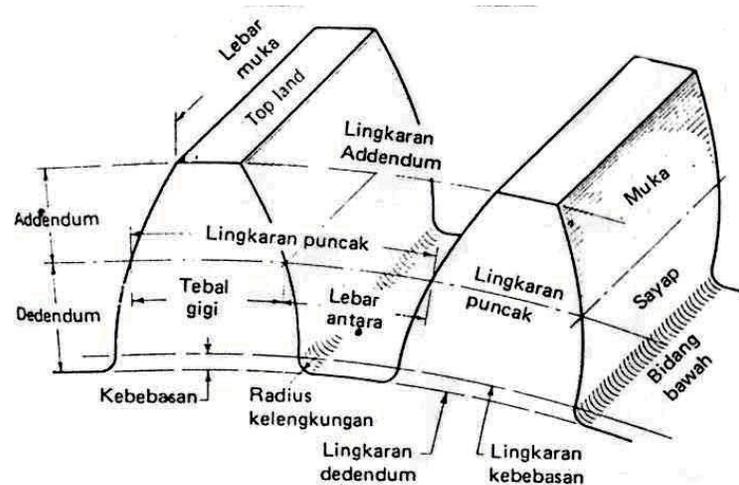


Gambar 2.9. Roda Gigi Hypoid

Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Roda_gigi

2.3.3 Bagian – bagian roda gigi

Nama – nama bagian roda gigi dapat dilihat pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10. Bagian – Bagian Roda Gigi

Sumber : <https://abynkverbeck.wordpress.com/2011/11/01/nomenklatur-roda-gigi/>

Keterangan gambar :

1. Lingkaran jarak bagi (*Pitch circle*) yaitu lingkaran imajiner yang dapat memberikan gerakan yang sama seperti roda gigi sebenarnya.
2. Tinggi Kepala (*Addendum*) yaitu jarak radial gigi dari lingkaran jarak bagi ke puncak kepala.
3. Tinggi kaki (*Dedendum*) yaitu jarak radial gigi dari lingkaran jarak bagi ke dasar kaki.
4. Lingkaran kepala (*Addendum circle*) yaitu gambaran lingkaran yang melalui puncak kepala dan sepusat dengan lingkaran jarak bagi.
5. Lingkaran kaki (*Dedendum circle*) yaitu gambaran lingkaran yang melalui

dasar kaki dan sepusat dengan lingkaran jarak bagi.

6. Lebar gigi (*Tooth space*) yaitu sela antara dua gigi yang saling berdekatan.
7. Tebal gigi (*Tooth thickness*) yaitu lebar gigi antara dua sisi gigi yang berdekatan.
8. Sisi kepala (*Face of the tooth*) yaitu permukaan gigi di atas lingkaran jarak bagi.
9. Sisi kaki (*Flank of the tooth*) yaitu permukaan gigi di bawah lingkaran jarak bagi.
10. Lebar gigi (*Face width*) yaitu lebar gigi pada roda gigi secara paralel pada sumbunya.

2.3.4 Perencanaan roda gigi lurus

Berikut ini adalah persamaan dalam perencanaan roda gigi (Sularso, K Suga, DPDP Elemen Mesin).

a. Modul

Pada dasarnya modul pada roda gigi diketahui sehingga dalam perencanaan roda gigi dapat dipermudah, berikut adalah persamaan dari harga modul :

$$m = \frac{D_p}{z} \text{ (mm)} \dots\dots\dots (2.1)$$

b. Lebar gigi

$$b = 10.m \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Jarak bagi nominal

$$t_e = \pi \times m \times \cos \alpha \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Tinggi kepala

$$h_k = k \times m \text{ (untuk } k = 1) \dots\dots\dots (2.4)$$

e. Tinggi kaki

$$h_f = k \times m \times c_k \text{ (untuk } c_k = 0,25) \dots\dots\dots (2.5)$$

f. Tinggi Gigi

$$H = 2,25 \times m \dots \dots \dots (2.6)$$

g. Jumlah gigi

$$z = \frac{D_p}{m} \dots \dots \dots (2.7)$$

h. Diameter pitch

$$D_p = z \times m \text{ (mm)} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan : m = modul (mm)

z = jumlah gigi

h_k = tinggi kepala (mm)

h_f = tinggi kaki (mm)

t_e = jarak bagi lingkaran dan normal

H = tinggi gigi

D_p = diameter *pitch*

c_k = kelonggaran puncak (0,25)

i. Kecepatan linear roda gigi

Kecepatan keliling merupakan kecepatan yang dicapai roda gigi dalam satu meter per detik. Berikut adalah persamaan yang menyangkut hal tersebut :

$$v = \frac{\pi \times d_{o1} \times n_1}{60 \times 1000} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan : v : kecepatan linear roda gigi (m/s)

d_{o1} : diameter roda gigi penggerak (mm)

n_1 : putaran mula roda gigi (rpm)

d : diameter jarak bagi (mm)

j. Gaya tangensial roda gigi

Gaya tangensial merupakan gaya yang diperoleh dalam arah keliling atau tangensial, gaya ini dapat diketahui dari beberapa persamaan seperti berikut :

$$F_t = \frac{102 P_d}{v} \quad \text{Dimana } P_d = f_c P \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana : v : kecepatan keliling (m/s)

P_d : daya rencana (kW)

F_t : gaya tangensial (kg)

P : daya yang ditransmisikan (kW)

f_c : faktor koreksi

Tabel 2 1 Faktor Koreksi

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Sumber : Sularso, K Suga, DPDP Elemen Mesin, 1994, hal 7

k. Beban lentur yang diijinkan per satuan lebar sisi

Besarnya beban lentur yang diijinkan per satuan lebar sisi dapat dihitung dengan besarnya modul modif jumlah gigi (z), faktor bentuk gigi (Y) dari roda gigi standar dengan sudut tekanan 20° . Faktor dinamis sebagai berikut :

$$F_b = \sigma_b \times m \times y \times f_v \text{ (kg/mm)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan : σ_b : tegangan lentur yang diijinkan (kg/mm²)

m : modul

Y : faktor bentuk gigi

f_v : faktor dinamis

Tabel 2 2 Faktor Bentuk Gigi

Jumlah gigi (z)	Y	Jumlah gigi (z)	Y
10	0,201	25	0,339
11	0,226	27	0,349
12	0,245	30	0,358
13	0,261	34	0,371
14	0,276	38	0,383
15	0,289	43	0,396
16	0,295	50	0,408
17	0,302	60	0,421
18	0,308	75	0,434
19	0,314	100	0,446
20	0,320	150	0,459
21	0,327	300	0,471
22	0,333	Batang gigi	0,484

(Sularso, 1994:240)

1. Faktor dinamis roda gigi

Semakin tinggi kecepatannya, semakin besar pula variasi beban atau tumbukan yang terjadi.

Tabel 2 3 Faktor Dinamis

Kecepatan rendah ($v = 0,5 - 10$ m/s)	$f_v = \frac{3}{3+v}$
Kecepatan sedang ($v = 5 - 20$ m/s)	$f_v = \frac{6}{6+v}$
Kecepatan ($v = 20 - 50$ m/s)	$f_v = \frac{5,5}{5,5+\sqrt{v}}$

(Sularso, 1994:240)

Koreksi karena pengaruh kecepatan ini diberikan dalam bentuk faktor dinamis (f_v) yang tergantung pada kecepatan keliling dan ketelitian sebagaimana ada pada persamaan berikut :

$$f_v = \frac{F_t}{\sigma_b b m Y} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana : m : modul

Y : faktor bentuk

m. Perhitungan beban permukaan yang diijinkan per satuan lebar gigi dapat diperoleh dari persamaan :

$$F_H = f_v \times k_h \times d_{o1} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana : k_h : faktor tegangan kontak

d_{o1} : diameter lingkaran bagi

f_v : faktor dinamis

Lebar sisi gigi (b) yang diperlukan atas dasar perhitungan kekuatan permukaan adalah :

$$b = \frac{F_t}{F_H} \dots \dots \dots (2.14)$$

Pada umumnya harga b ditetapkan antara (6-10) m, untuk daya besar antara (10-16) m. Roda gigi dengan sisi yang sangat lebar cenderung mengalami deformasi, khususnya juga bekerja sebagai pinion, terutama jika ketelitiannya rendah dan mempunyai kesalahan dalam pemasangan, sehingga distribusi tekanannya pada sisi gigi tidak merata. Jika dari suatu perhitungan kekuatan ternyata diperlukan perhitungan kembali dengan mengambil bahan lain termasuk perlakuan panas atau merubah modul.

n. Pemeriksaan terhadap lenturan

Pemeriksaan roda gigi terhadap lenturan ini merupakan awal dari pemilihan beban yang akan digunakan dalam perencanaan, sehingga perencanaan aman untuk digunakan, berikut adalah formulasi dalam menentukan tegangan :

$$\sigma_b = \frac{F_t}{f_v b m Y} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana : σ_b : tegangan lentur (kg/mm^2)

F_t : gaya tangensial (kg)

b : lebar gigi (mm)

Tabel 2 4 Tegangan lentur yang diijinkan pada roda gigi

Kelompok Bahan	Lambang Bahan	Kekuatan tarik σ_B (kg/mm ²)	Kekerasan (Brinell) H _B	Tegangan lentur yang diizinkan σ_B (kg/mm ²)
Besi cor	FC 15	15	140 – 160	7
	FC 20	20	160 – 180	9
	FC 25	25	180 – 240	11
	FC 30	30	190 – 240	13
Baja cor	SC 42	42	140	12
	SC 46	46	160	19
	SC 49	49	190	20
Baja karbon untuk kontruksi mesin	S 25 C	45	123 – 183	21
	S 35 C	52	149 – 207	26
	S 45 C	58	167 – 229	30
Baja paduan dengan pengerasan kulit	S 15 CK	50	400 (dicelup dingin dalam minyak)	30
	SNC 21 SNC 22	80 100	600 (dicelup dingin dalam air)	35 – 40 40 – 55
Baja khrom nikel	SNC 1	75	212 – 255	35 – 40
	SNC 2	85	248 – 302	40 – 60
	SNC 3	95	269 – 321	40 – 60
Perunggu Logam delta Perunggu fosfor (coran) Perunggu nikel (coran)		18 35 – 60	85	5
		19 – 30	- 80 – 100	10 – 20 5 – 7
		64 – 90	180 – 260	20 – 30
Damar phenol, dll.				3 – 5

(Sularso, 1994:241)

o. Rasio putaran dan roda gigi

Jika putaran roda gigi yang berpasangan dinyatakan dengan n_1 (rpm) pada poros penggerak dan n_2 (rpm) pada poros yang digerakkan, diameter lingkaran jarak bagi d_1 (mm) dan d_2 (mm) dan jumlah gigi z_1 dan z_2 , maka perbandingan putaran u :

$$U = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_1 \cdot m}{z_2 \cdot m} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\frac{z_1}{z_2} = i$$

Harga i adalah perbandingan antara jumlah gigi pada roda gigi dan pinion, dikenal juga sebagai perbandingan transmisi atau perbandingan roda gigi. Perbandingan ini dapat sebesar 4 sampai 5 dalam hal roda gigi lurus standar, dan dapat diperbesar sampai 7 dengan perubahan kepala.

2.3.5 Cacat pada roda gigi

(Sirajuddin, 2010) menjelaskan tanda adanya kerusakan atau cacat pada roda gigi dapat dibedakan pada tiap prosesnya, diantaranya :

1. Cacat pada proses pembuatan, misalnya :
 - a. Kesalahan profil *involute* gigi
 - b. Massa tak seimbang pada roda gigi
 - c. Kesalahan jarak *pitch* antar gigi
 - d. Ketakbulatan roda gigi
 - e. Roda gigi yang *eksentrik*.
2. Cacat pada proses pemasangan, misalnya :
 - a. Ketaksesumbuan antar poros roda gigi
 - b. *Backlash* yang terlalu kecil atau besar
 - c. *Eksentrisitas* antara roda gigi dan porosnya
3. Cacat pada proses pemakaian, misalnya :
 - a. Keausan
 - b. Pecah (*spalling*)

c. Patah gigi

Cacat roda gigi pada proses pemakaian dapat dilihat pada contoh seperti pada gambar 2.11 dibawah.



Gambar 2.11. Cacat pada proses pemakaian roda gigi

Sumber : Sirajuddin, 2010

2.3.6 Roda gigi pada turbin angin

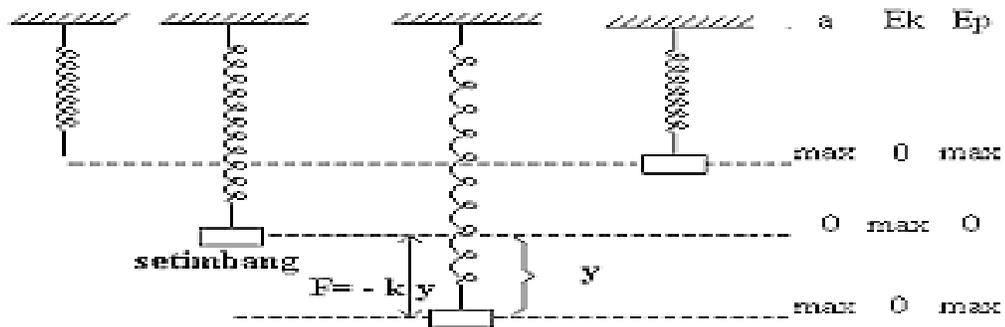
Roda gigi pada turbin angin berfungsi untuk mengubah kecepatan putaran poros dari baling – baling menjadi putaran yang lebih cepat, sesuai dengan putaran yang dibutuhkan untuk membangkitkan tenaga listrik dengan sebuah dinamo generator pembangkit listrik. Biasanya berat sebuah roda gigi yang digunakan pada konstruksi sebuah turbin angin dapat mencapai ribuan kilogram.

Perbandingan ukuran roda gigi yang berputar dengan poros baling – baling terhadap poros yang berputar dengan generator listrik bisa berada antara 40:1 hingga 100:1. Dengan perbandingan rasio roda gigi seperti ini, putaran perlahan yang dihasilkan oleh baling – baling akan dapat membangkitkan tenaga listrik pada skala yang sesuai dengan desain dari generator listrik pada turbin angin tersebut. Sebuah generator listrik dapat berputar pada kisaran kecepatan rotasi 1500 rpm.

2.4 Metode Deteksi Rusak Pada Roda Gigi Menggunakan Sinyal Getaran

2.3.1 Teori getaran

Getaran adalah osilasi periodik dari suatu sistem mekanis. Contoh sederhana fenomena getaran dapat dilihat pada sebuah pegas yang salah satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya diberi massa seperti pada gambar 2.12.



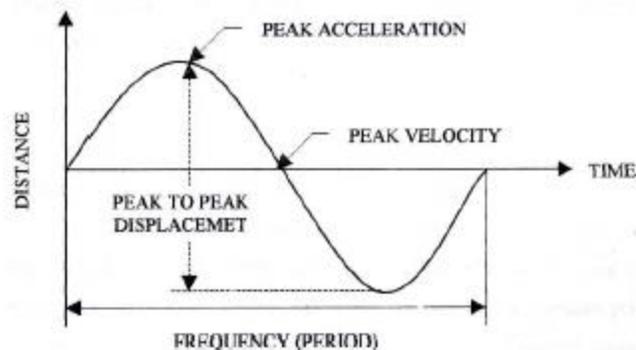
Gambar 2.12. Getaran pada sistem pegas massa sederhana

Sumber : David Halliday (1996)

Mula – mula sistem dalam keadaan setimbang (Gambar 2.11.). Jika massa diberi gaya F maka massa akan turun sampai batas tertentu. Perpindahan maksimum posisi massa bergantung pada besarnya gaya F , massa dan kekuatan tarik pegas melawan gaya F tersebut. Jika gaya sebesar F tidak dikenakan lagi pada massa, maka massa akan ditarik keatas oleh pegas karena tenaga potensial yang tersimpan dalam pegas. Massa akan kembali ke posisi kesetimbangan, selanjutnya bergerak keatas sampai batas tertentu. Perpindahan maksimum keatas dipengaruhi oleh kekuatan tarik pegas dan massa benda. Proses tersebut akan berulang sampai tidak ada pengaruh gaya luar pada sistem. Pergerakan massa naik turun ini disebut osilasi mekanis. Berkaitan dengan mesin getaran (*machinery vibration*) didefinisikan sebagai gerakan bolak – balik dari mesin atau elemen mesin dari posisi setimbang (diam).

2.3.2 Karakteristik getaran

Kondisi mesin dan masalah mekanik dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik getarannya. Pada suatu sistem pegas massa, karakteristik getaran dapat dipelajari dengan mengetahui pergerakan massa terhadap waktu.



Gambar 2.13. Karakteristik Getaran

Sumber : <http://www.vibrasindo.com/blogvibrasi/detail/21/apa-itu-getaran-vibration>

Gerak massa dari posisi netralnya ke batas atas kemudian kembali ke posisi netral (kesetimbangan) dan bergerak lagi ke bawah kemudian kembali ke posisi kesetimbangan, menunjukkan getaran satu siklus. Waktu untuk melakukan gerak satu siklus ini disebut periode, sedangkan jumlah siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Karakteristik getaran dapat dilihat pada gambar 2.13.

Karakteristik getaran memiliki parameter sebagai tolak ukur dalam pengukuran getaran. Parameter tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Amplitudo

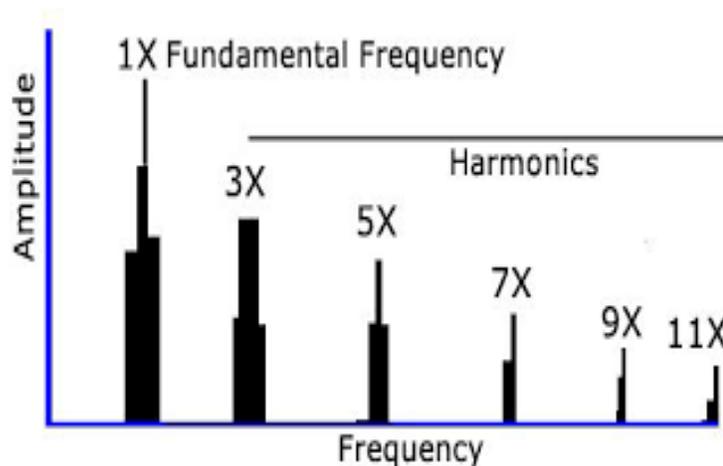
Amplitudo merupakan ukuran titik tertinggi pada suatu gelombang, titik tertinggi ini akan memiliki nilai yang berbeda pada setiap gelombang. Apabila dua buah gelombang memiliki ukuran panjang gelombang yang sama, maka salah satu dari gelombang tersebut akan memiliki nilai puncak yang lebih tinggi atau bahkan lebih rendah dibanding gelombang yang lain (Paresh & Scheffer, 2004). Maka suatu benda dapat diindikasikan memiliki besar getaran yang dihasilkan dengan menggunakan nilai amplitudo.

2. Frekuensi

Frekuensi merupakan banyaknya siklus gelombang dalam satu putaran waktu. Frekuensi biasanya pada sebuah mesin digunakan untuk menentukan letak kesalahan komponen mesin tersebut. Frekuensi mampu mengidentifikasi secara rinci kerusakan pada suatu komponen mesin. Satuan yang digunakan dapat dinyatakan dengan hertz (Hz).

3. Harmonik

Harmonik adalah kondisi pembentukan gelombang dengan frekuensi yang memiliki nilai frekuensi berbeda dari bilangan frekuensi yang sama. Nilai frekuensi suatu gelombang sinyal getaran memiliki nilai harmonik, sebagai contoh pada frekuensi 30 Hz maka harmonik keduanya pada frekuensi 60 Hz dan seterusnya. Harmonik dapat dilihat seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Harmonik (Paresh & Scheffer, 2004).

4. Fase

Fase yaitu gambaran akhir dari karakteristik getaran pada mesin yang sedang beroperasi. Fase juga merupakan perpindahan posisi dari bagian yang bergetar secara relative sebagai penentuan titik awal dari getaran pada bagian lainnya (Adistya, 2014).

2.3.3 Karakteristik frekuensi roda gigi

Gearbox memiliki begitu banyak desain yang berbeda, yang paling sering dijumpai dikenal dengan *spur gears* yang berfungsi untuk mentransfer daya antara dua poros paralel yang memiliki kecepatan yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Kecepatan putaran poros ditentukan oleh rasio jumlah gigi pada setiap roda gigi.

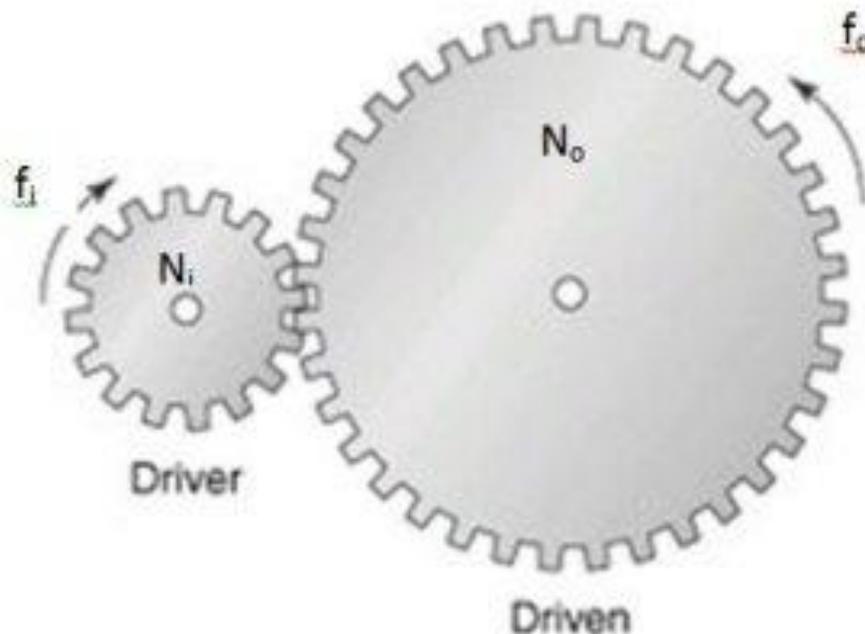
f_i : input speed

f_o : output speed

N_i : banyaknya gigi pada *input* roda gigi

N_o : banyaknya gigi pada *output* roda gigi

$$f_o = \frac{N_i}{N_o} f_i \quad (1)$$



Gambar 2.14 Spur gears

(Davies Don, 2014)

1. frekuensi kontak gigi (*gearmesh*)

Frekuensi yang menunjukkan kontak gigi pada spektrum getaran didefinisikan sebagai hasil perkalian antara jumlah gigi roda gigi dengan kecepatan putarannya.

Frekuensi kontak gigi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f_{GMF} = z \times \omega \quad (2)$$

Keterangan: f_{GMF} : frekuensi kontak gigi [Hz]

z : jumlah gigi [buah]

ω : kecepatan putar poros [Hz]

Frekuensi kontak gigi merupakan karakteristik yang bersifat umum karena setiap sistem pada roda gigi yang melakukan kontak untuk segala kondisi, baik itu kondisi rusak maupun normal selalu menampilkan spektrum getaran dengan frekuensi ini. Karakteristik frekuensi yang dapat dijadikan indikasi adalah pada saat sistem roda gigi meneruskan beban karena kontak yang terjadi antara gigi – gigi yang mempunyai gaya untuk menimbulkan sinyal getaran.

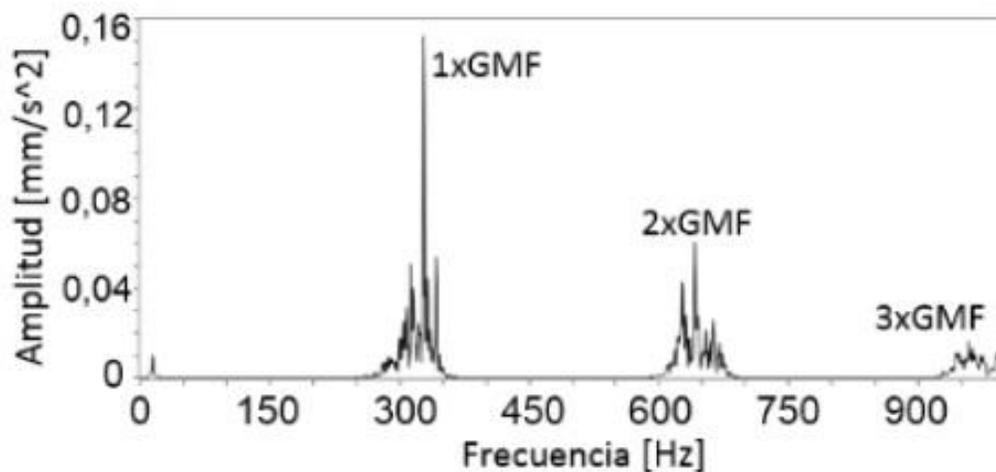


Figura 17. Espectro de condición normal señal de aceleración.

Gambar 2.14 Spektrum Gearmesh

(Sánchez and Méndez, 2016)

2. frekuensi *sidebands*

Frekuensi yang muncul disekitar frekuensi utama spektrum roda gigi ini terjadi karena adanya kecepatan putaran yang tidak stabil pada sistem roda gigi. Kondisi seperti ini dapat muncul dikarenakan penyimpangan terhadap dimensi gigi pada roda gigi, defleksi poros, penyimpangan sumbu poros atau *unbalance* pada poros. Percepatan dan perlambatan yang terjadi pada kontak pasangan gigi yang bermasalah dapat terjadi karena sistem harus mempertahankan waktu yang diperlukan untuk melakukan satu putaran penuh. Adanya perlambatan dan percepatan yang tidak beraturan ini juga dapat menimbulkan munculnya frekuensi *sidebands* disekitar frekuensi roda gigi. Frekuensi ini akan muncul pada setiap perkalian kecepatan putaran sistem, seperti pada persamaan berikut:

$$f_{SB} = \pm N \times \omega \quad (3)$$

Keterangan:

- a. tanda positif dan negatif (\pm) menunjukkan gangguan sinyal pada frekuensi roda gigi yaitu kontak gigi akibat percepatan dan perlambatan sistem.
- b. N adalah faktor pengali yaitu 1,2,3 dan seterusnya.
- c. ω adalah kecepatan putaran roda gigi dalam satuan Hz.

3. *hunting tooth frequency* (HTF)

Frekuensi lain yang terkadang muncul dan digunakan adalah *Hunting Tooth Frequency* (HTF). Hal ini ditemukan ketika satu gigi pada setiap gigi rusak dan mewakili frekuensi di mana kedua gigi saling bersentuhan. Perhitungan frekuensi ini juga tergantung pada jumlah gigi per gigi dan melibatkan mencari *common factor* (CF) antara rasio gigi. Sebagai contoh jika roda gigi input memiliki 9 gigi maka faktornya adalah 1x9 dan 3x3 dan pada roda gigi output memiliki 15 gigi maka faktornya adalah 1x15 dan 3x5 sehingga *common factor* (CF) adalah 3. HTF dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$HTF = \frac{f_m^{CF}}{N_i N_o} \quad (4)$$

2.3.4 Sinyal getaran

Sinyal merupakan suatu deskripsi bagaimana suatu parameter mempengaruhi parameter lain. Seperti pada voltase yang berubah setiap waktu dalam sirkuit elektronik. Sedangkan dalam sistem dapat diartikan suatu proses yang mengolah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. (Smith, 1999).

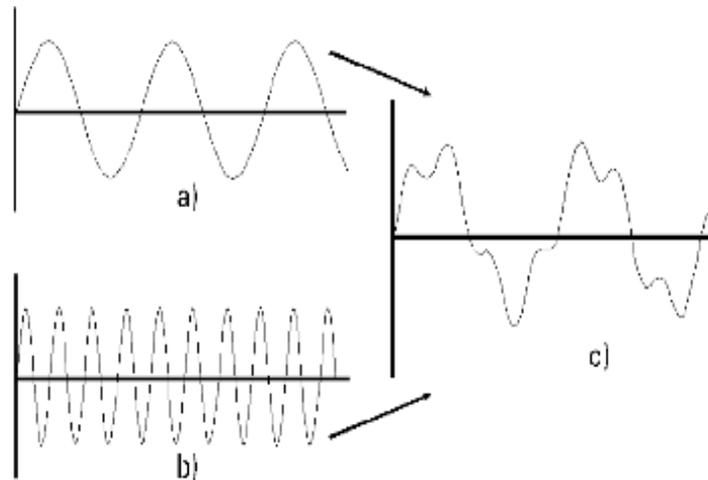
Sinyal yang diperoleh melalui sensor pada pengukuran suatu getaran mesin adalah suatu respon gabungan dari suatu mesin terhadap bermacam – macam gaya eksitasi, dari dalam maupun dari luar mesin tersebut.

Arah analisa yang efektif adalah penguraian sinyal kompleks ini menjadi komponen – komponennya. Masing – masing komponen kemudian dikorelasikan dengan sumbernya. Ada dua pandangan dalam persoalan analisa getaran, yaitu domain waktu dan frekuensi.

Domain waktu secara istilah dapat dikatakan sebagai getaran yang memiliki simpangan terhadap waktu. Sementara, domain frekuensi yaitu berupa amplitudo sebagai fungsi frekuensi. Domain waktu memberikan gambaran fenomena getaran secara fisik sedangkan domain frekuensi merupakan cara yang cocok untuk mengidentifikasi komponen – komponennya.

2.3.5 Domain waktu

Perubahan simpangan suatu getaran terhadap waktu dapat diamati secara terinci dengan grafik domain waktu. Gambar 2.14 merupakan gambaran dalam domain waktu, yang menunjukkan simpangan rotor yang tidak balance terhadap waktu. Amplitudo sinyal sebanding dengan massa tak balance dan siklus berulang seiring dengan putaran. Sinyal ini sangat sederhana dan mudah dianalisa.

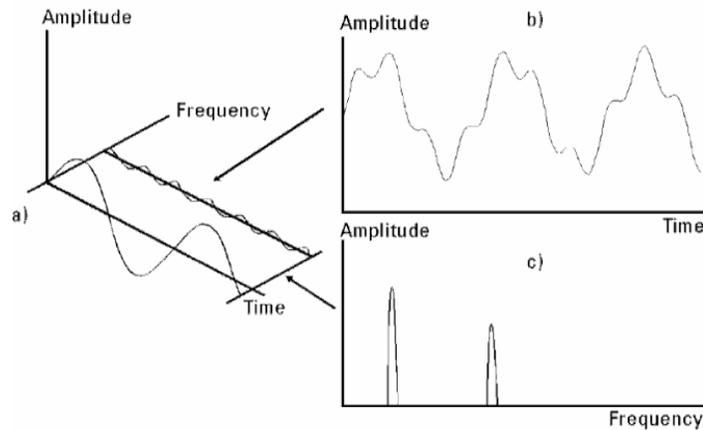


Gambar 2.14. Gelombang dari dua buah gelombang sinus
(Hawlet Packard Application Note 243-1)

Dengan melihat sinyal domain waktu tersebut sulit diturunkan masing – masing komponennya. Doamin waktu memberikan gambaran yang alamiah dari fenomena getaran yang sangat berguna untuk menganalisa sinyal impuls yang dihasilkan oleh bantalan atau roda gigi yang rusak. Doamin waktu berguna untuk menunjukkan fase antara satu sinyal dengan lainnya.

2.3.6 Domain frekuensi

Dalam prakteknya tidak ada sinyal getaran yang keberadaanya langsung dalam domain frekuensi. Sinyal getaran selalu terjadi dalam domain waktu tetapi untuk keperluan analisa sinyal getaran yang dalam, domain waktu ini dapat dikonversikan kedalam domain frekuensi. Ilustrasi tentang konsep data dalam domain waktu dan domain frekuensi diperlihatkan pada gambar 2.15.



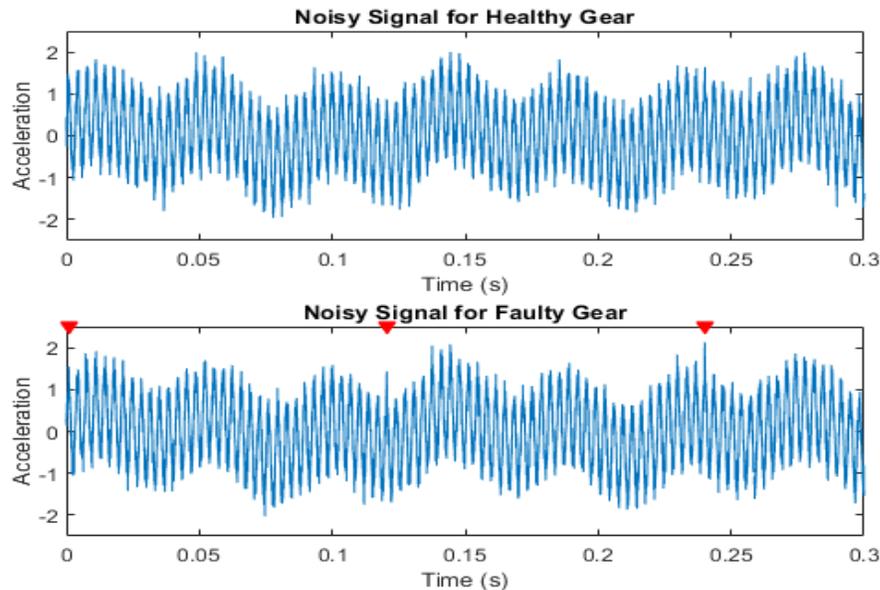
Gambar 2.15. Sinyal dalam domain waktu dan frekuensi
 (Hawlet Packard Application Note 243-1)

Domain frekuensi berpedoman pada prinsip bahwa semua sinyal (bukan sinyal ideal) dapat dibangkitkan dengan penjumlahan gelombang sinus. Prinsip ini dirumuskan oleh J.B. Fourier satu abad yang lalu. Sebaliknya sembarang sinyal dapat diuraikan atas komponen-komponennya yang berupa gelombang sinus, penting untuk dikemukakan bahwa spektrum frekuensi sepenuhnya mewakili sinyal getaran. Tidak ada informasi yang hilang karena konversi dari domain waktu ke domain frekuensi, bila beda fase antar komponen juga disertakan.

2.3.7 Metode *time synchronous averaging* (TSA)

Kerusakan pada roda gigi merupakan kerusakan yang paling sering terjadi pada mesin karena digunakan dalam sistem transmisi daya. Akibat adanya beban kontak antar roda gigi dengan gigi – gigi pinion dan kondisi operasi selama proses transmisi daya, maka kerusakan roda gigi dapat terjadi. Kerusakan tersebut berpengaruh terhadap kinerja roda gigi, oleh karena itu deteksi dini dari kerusakan roda gigi diperlukan karena dapat mengurangi kerugian. Analisa TSA ini telah menunjukkan beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan metode lain dalam deteksi dini kerusakan roda gigi

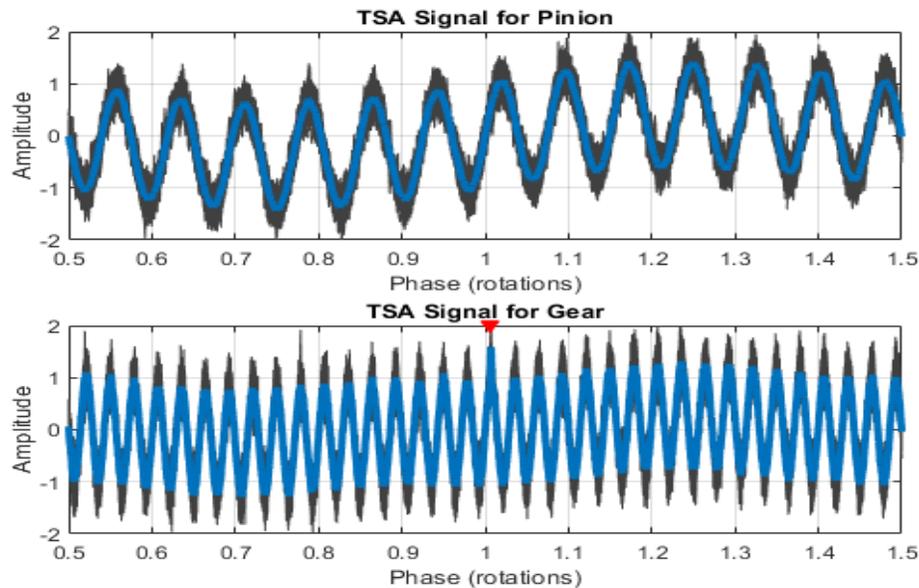
Time Synchronous Averaging (TSA) pertama kali diusulkan oleh McFadden, TSA merupakan teknik pemrosesan sinyal yang di olah dengan baik yang memungkinkan bentuk gelombang periodik (*periodic waveforms*) untuk diekstraksi dari sinyal yang kotor (*noise*).



Gambar 2.16 Analisa sinyal getaran yang masih tercampur *noise*

Sumber : <https://www.mathworks.com/help/signal/examples/vibration-analysis-of-rotating-machinery.html?requestedDomain=true>

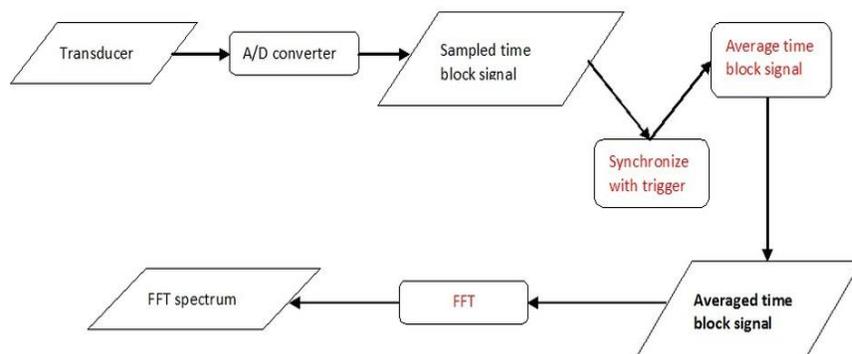
Sinyal getaran yang diukur dari gearbox biasanya mengandung amplitudo dan modulasi fasa (*phase modulations*), dan biasanya tercampur oleh kebisingan (*noise*) yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2.17. Sinyal getaran TSA

Sumber : <https://www.mathworks.com/help/signal/examples/vibration-analysis-of-rotating-machinery.html?requestedDomain=true>

Dalam prosesnya agar sinyal getaran dapat mereduksi noise maka diterapkan metode sinyal getaran menggunakan *time synchronous averaging* seperti yang ada pada gambar 2.17. Proses analisis TSA tentu memiliki skema dalam mereduksi noise yang muncul, skema yang diterapkan ditunjukkan seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Skema TSA

Sumber: <https://www.crystalinstruments.com/time-synchronous-average/>

2.3.8 *Fast fourier transform (FFT)*

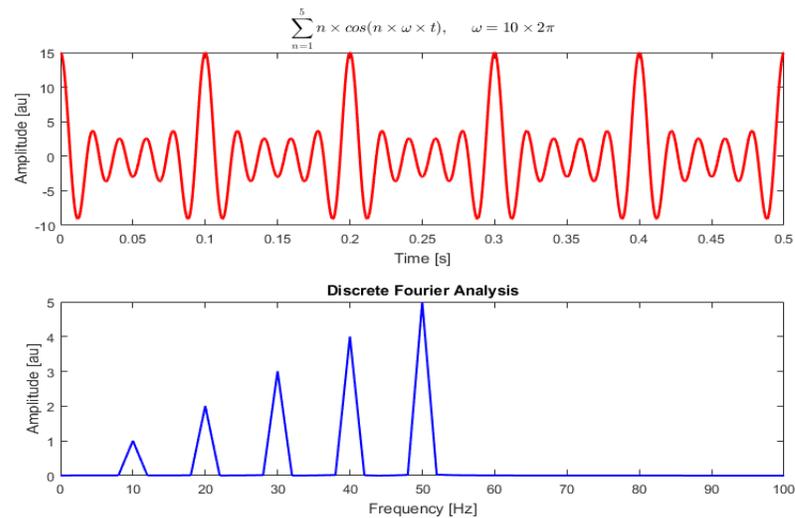
Fenomena periodik sering dijumpai dalam fisika dan penerapan rekayasa, dan suatu permasalahan sederhana yang terpenting adalah mampu mempresentasikan fenomena periodik yang muncul dengan menggunakan fungsi periodik sederhana seperti sinus dan kosinus (Erwin, 1988).

Deret Fourier merupakan deret yang bersuku sinus dan kosinus yang muncul ketika kita ingin mempresentasikan fungsi periodik umum. Sehingga suatu fungsi periodik pada deret fourier dapat dinyatakan oleh deret sinusoidal tak hingga yang frekuensi – frekuensinya berkaitan secara harmonik.

Transformasi fourier merupakan persamaan yang mengijinkan untuk melakukan transformasi bolak – balik antara domain waktu dan domain frekuensi untuk suatu sinyal tanpa periodik. Jika deret fourier dapat diterapkan pada bentuk gelombang periodik, maka transformasi fourier dapat diterapkan pada gelombang yang bersifat acak.

Transformasi fourier merupakan sumber suatu alogaritma yang berguna untuk untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT sangat penting sekali dalam bidang analisa spektrum (frekuensi) karena mampu mengubah sinyal diskrit dalam domain waktu menjadi frekuensi diskrit dalam representasi domain frekuensi. DFT memiliki sifat, diantaranya yaitu periodisitas dan kesimetrisan.

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan varian tercepat dari DFT, dikarenakan menggunakan alogaritma yang dapat melakukan proses seperti pada DFT, namun FFT dapat melakukannya dalam waktu yang lebih singkat. Karena kecepatan dan sifat diskritnya ini, maka FFT digunakan untuk analisa dalam pengolahan sinyal digital. Gambaran analisis FFT dapat dilihat pada gambar 2.19 dibawah.



Gambar 2.19. Analisis Transformasi Fourier Diskrit

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform

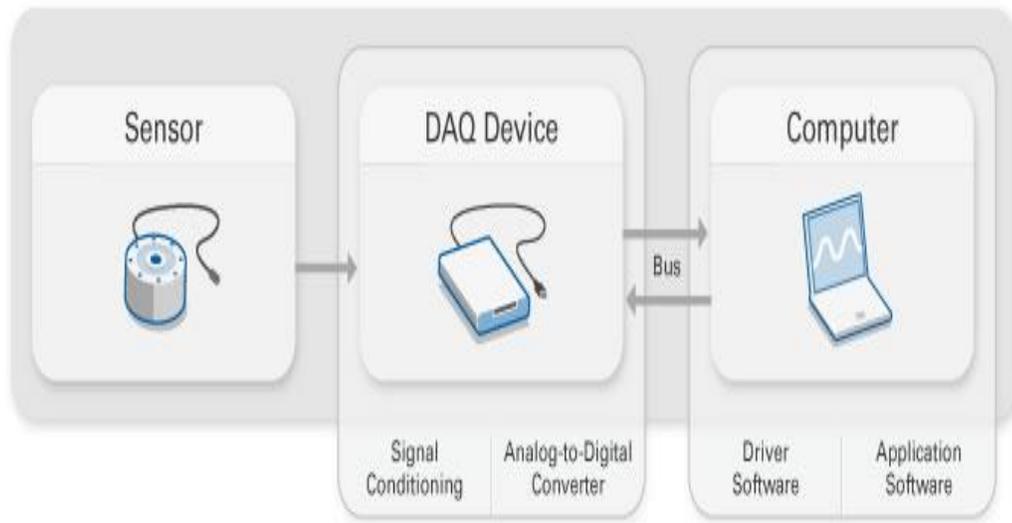
2.3.9 Akuisisi data

Akuisisi Data atau biasa dikenal dengan *Data Acquisition* (DAQ) yang merupakan sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersamaan dengan tujuan untuk melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran. Secara aktual DAQ berupa interface antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog meliputi transduser dan pengkondisian sinyal, sedangkan lingkungan digital meliputi *analog to digital converter* (ADC) dan selanjutnya pemrosesan digital yang dilakukan oleh sistem berbasis mikroprosesor.

Data akuisisi termasuk proses sampling dari sinyal – sinyal yang berasal dari kondisi fisik suatu objek yang akan diubah menjadi sinyal analog kedalam bentuk digital dengan bantuan beberapa komponen seperti dilihat pada gambar 2.20 dengan uraian sebagai berikut:

1. Sensor, berfungsi mengubah suatu parameter fisik kedalam bentuk sinyal elektrik.

2. *Signal conditioning circuitry*, mengubah sinyal yang berasal dari sensor ke bentuk sinyal digital..
3. *Analog to digital converter (ADC)*, melakukan konversi data analog menjadi data digital yang disesuaikan.



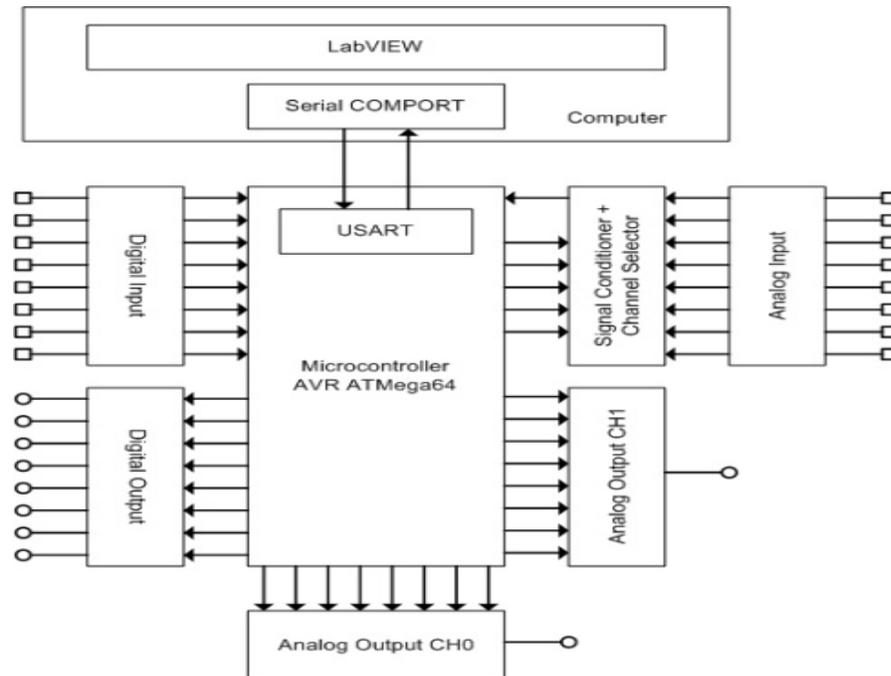
Gambar 2.20. Komponen pada DAQ

Sumber: <http://slideplayer.info/slide/11816119/>

2.3.10 Modul akuisisi data

Modul akuisisi data merupakan alternatif dari beberapa fungsionalitas yang bersifat opsional dalam DAQ seperti misalkan filter, modulator, dan sebagainya. Modul ini dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler yang akan berkomunikasi secara *bidirectional* dengan LabVIEW. Keuntungannya modul DAQ ini dibuat dengan harga yang terjangkau dan menghasilkan performa yang baik.

Untuk membuat modul DAQ, beberapa rangkaian elektronika harus diintegrasikan. Modul akuisisi data dirancang mempunyai input dan output yang berupa data digital dan analog. Pada gambar 2.21 dapat dilihat diagram blok modul DAQ secara keseluruhan.



Gambar 2.21. Diagram blok pada modul akuisisi data

Sumber: Indra Sugiarto, et al.

2.5 Teori pencuplikan (*sampling theorem*)

Sampling adalah proses mengubah sinyal kontinu menjadi sinyal diskrit, sedangkan rekonstruksi adalah proses sebaliknya.

Teori *sampling* merupakan suatu sinyal waktu kontinu, $x(t)$ dapat direkonstruksi secara unik dari cuplikannya, $x_s(t)$, jika dapat memenuhi dua kondisi yaitu saat frekuensi maksimal dan saat *sampling* frekuensi terkecil.

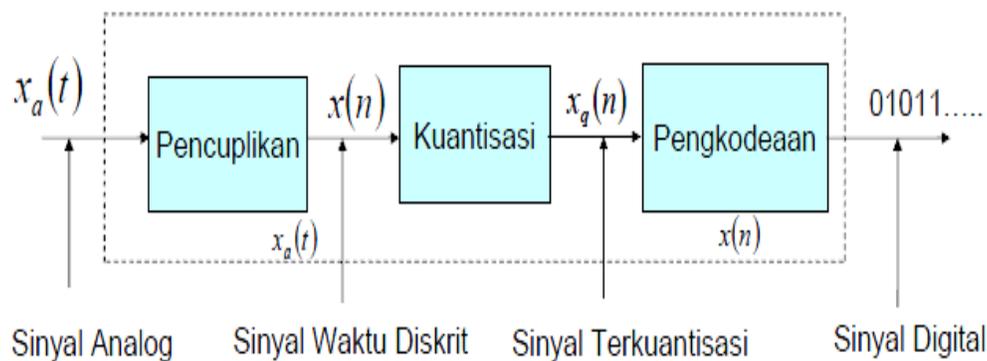
2.5.1 Analog to digital process

Dalam melakukan proses analog ke digital, maka dilakukan proses konversi *analog to digital* seperti pada gambar 2.22. Diantaranya:

1. Pencuplikan (*Sampling*), konversi sinyal analog ke dalam sinyal amplitudo kontinu waktu diskrit.

2. Kuantisasi, konversi masing – masing amplitudo kontinu waktu diskrit dari sinyal sampel dikuantisasi dalam level 2^B , dimana B adalah jumlah bit yang digunakan dalam *analog to digital conversion* (ADC).
3. Pengkodean, setiap sinyal amplitudo diskrit yang dikuantisasi direpresentasikan kedalam suatu barisan bilangan biner dari masing – masing bit.

Analog to Digital converter

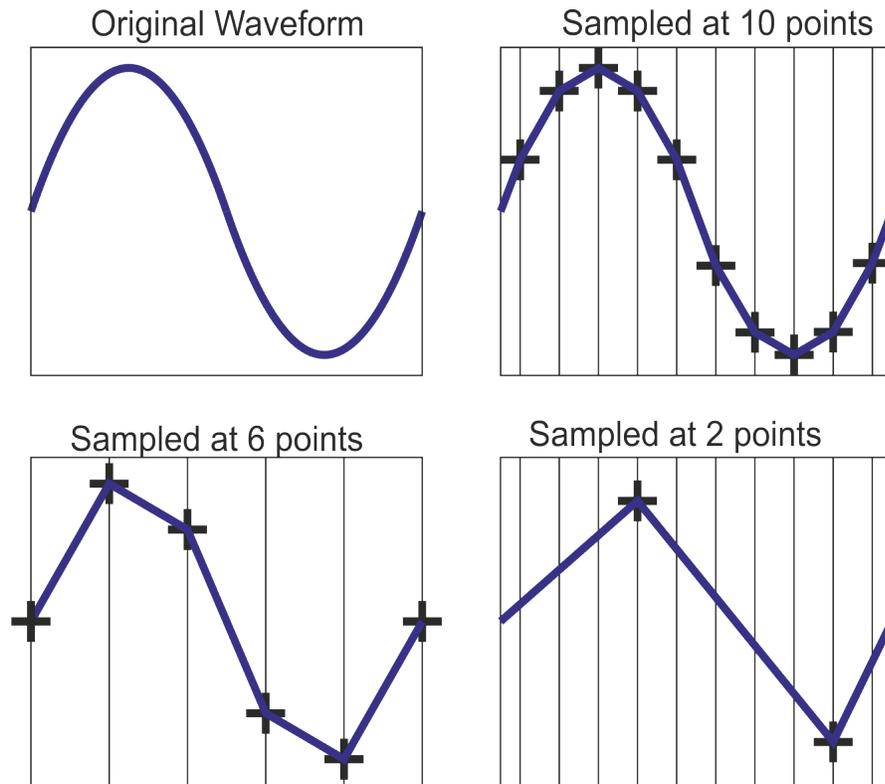


Gambar 2.22. Proses konversi *analog to digital*

Sumber: <https://www.slideshare.net/simonpatabang/7-analog-digital-converter>

2.5.2 Sampling rate

Sampling rate dapat diartikan jumlah banyaknya sample yang diambil dalam satuan waktu (s) dari sinyal yang diterima dalam bentuk terus menerus (*continuous signal*). Setiap jenisnya modul akuisisi data tentu memiliki nilai *sampling rate* tersendiri. Pada gambar 2.23 dapat dilihat contoh *sampling rate*.



Gambar 2.23. *Sampling rate*

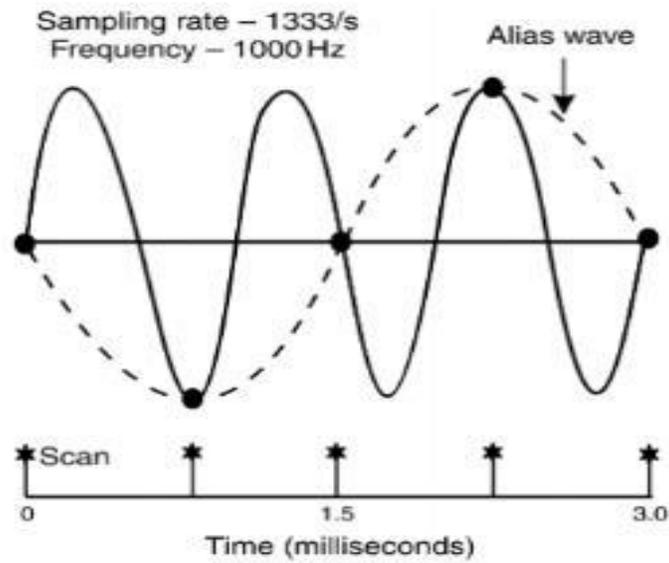
Sumber: <https://labtronix.co.uk/drupal/content/about-oscilloscope-sample-rate>

2.5.3 Frekuensi Nyquist

Teorema *sampling nyquist* memberikan suatu kondisi yang cukup untuk pengambilan sampel dan rekonstruksi sinyal-band terbatas. Ketika rekonstruksi dilakukan melalui rumus interpolasi Whittaker-Shannon, kriteria Nyquist juga merupakan kondisi yang perlu untuk menghindari aliasing, dalam arti bahwa jika sampel yang diambil pada tingkat lebih lambat dari dua kali batas band, maka ada beberapa sinyal yang tidak akan secara benar direkonstruksi. Namun, jika pembatasan lebih lanjut dikenakan pada sinyal, maka kriteria Nyquist mungkin tidak lagi menjadi syarat mutlak.

2.5.4 Aliasing

Aliasing adalah suatu efek akibat dari rekonstruksi sinyal yang tidak sesuai dengan sinyal aslinya yang saat pencuplikan memiliki frekuensi yang dibawah standar ketentuan nyquist. Efek dari aliasing dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24. Aliasing

Girdhar, (2004)