

## BAB II

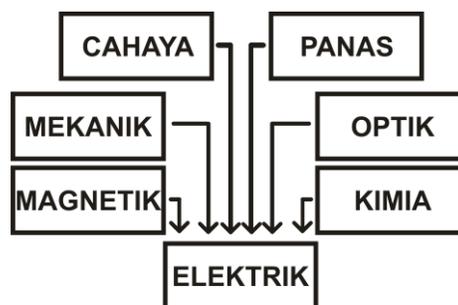
### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 *Smart Sensor*

##### 2.1.1 *Smart Sensor*

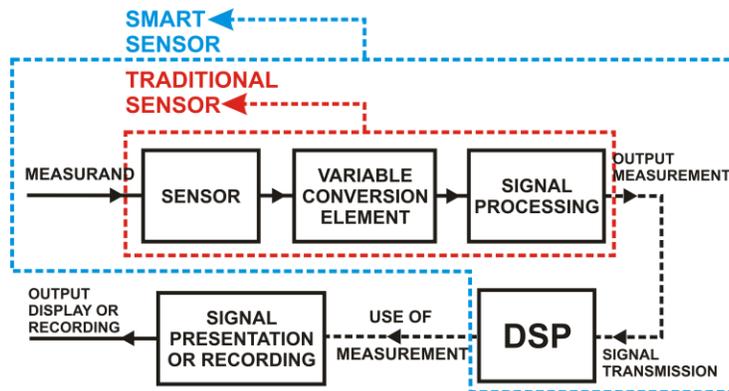
Sebelum mengenal lebih jauh mengenai definisi dan hal – hal yang berkaitan dengan *smart sensor*, definisi sensor harus dipahami terlebih dahulu. Sensor merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kondisi fisis / mendapatkan informasi fisik dari sistem seperti temperature, getaran, kecepatan putar, torsi, tekanan dan sebagainya dan mengubahnya menjadi sebuah sinyal (biasanya sinyal elektrik) yang proporsional dengan besarnya pengukuran yang ada pada sistem. Jadi sensor bekerja dengan mengubah besaran fisik non elektrik seperti biologis, optic, dan kimiawi menjadi sebuah sinyal elektrik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1 Sedangkan smart sensor dapat didefinisikan sebagai sebuah perangkat instrument yang dapat mengukur kondisi fisik dan dapat melakukan *on board processing* misalnya :

1. Operasi Perhitungan (*Arithmetic Operation*)
2. Penyaringan Sinyal (*Filtering*)
3. Pengambilan Keputusan (*Decision Making*)
4. Komunikasi dua arah (*Two way Communication*) [5]



Gambar 2.1 Perubahan sinyal pada sensor [6]

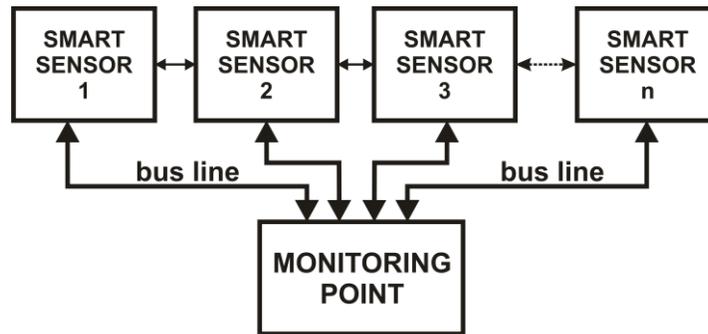
Jadi perbedaan utama antara smart sensor dan sensor tradisional dapat disimpulkan menjadi satu kata “kecerdasan / *Intelligence*”. Sebelum ditemukannya inovasi smart sensor, sensor tradisional hanya digunakan untuk mengukur besaran fisik pada sistem yang kemudian dibaca dengan menggunakan alat ukur. Perbedaan Smart Sensor dan sensor tradisional dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini



**Gambar 2.2 Perbedaan Smart Sensor dan Sensor Tradisional [7]**

Ditemukannya mikroprosesor kemudian membantu perkembangan *smart sensor*, teknologi mikroprosesor yang canggih, didalam sebuah chip terdapat *feature* yang sangat lengkap misalnya *Analog to Digital Converter*, *Timer* dan sebagainya sehingga besaran yang dibaca oleh sensor berupa analog dapat dengan mudah diubah ke format digital dan data yang didapatkan bisa diolah melalui proses digital (*Digital Signal Processing*) dan ditampilkan ke sebuah *computer monitoring point*.

Pada aplikasinya *smart sensor* juga tidak hanya bisa digunakan secara sendirian, namun smart sensor juga dapat saling dihubungkan satu sama lain melalui jalur bus data dimana tiap smart sensor bekerja secara independen dan dapat saling berkomunikasi satu sama lain, gambar 2.3 menunjukkan bagaimana sistem smart sensor yang saling berhubungan dan membentuk sebuah jaringan yang sering disebut *Smart Sensor Network*.



**Gambar 2.3 Smart Sensor Network [8]**

Smart sensor secara *single* ataupun *Networking* memiliki keunggulan diantaranya:

1. Karena *smart sensor* mengambil peran penting dalam sistem kontrol dan pengukuran salah satunya adalah mengkondisikan sinyal maka *smart sensor* dapat mengurangi beban kerja pada sistem kontrol utama sehingga dapat mempercepat operasi sistem.
2. Keluaran pengukuran dari *smart sensor* merupakan sinyal dengan format digital sehingga lebih terjamin keakuratannya dan tahan terhadap *noise* / gangguan – gangguan seperti pada sinyal analog.
3. Sebuah *smart sensor* dapat mengukur dan mengontrol lebih dari sebuah proses variable.
4. Kalibrasi pada smart sensor lebih mudah dilakukan karena hanya mengubah pada bagian *central processing unit* (CPU) dalam hal ini biasanya mikroprosesor.

Kekurangan *smart sensor* :

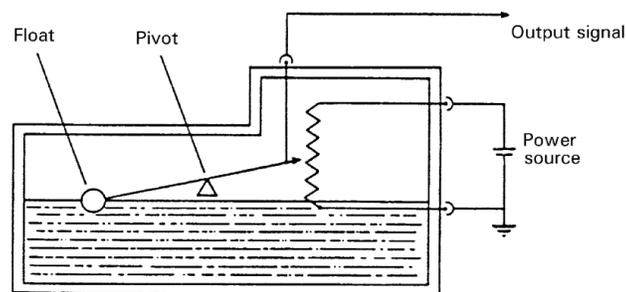
1. Ketika mengupgrade *smart sensor*, kita harus melakukan *mixing* ulang ketika kita menambah komponen atau mengganti komponen pada smart sensor.
2. Ketika terjadi kegagalan ataupun error komunikasi pada bus, data yang didapatkan tidak akan dapat digunakan.

## 2.1.2 Dasar dan Istilah Pengukuran

### a. Tipe Instrumen / Alat Ukur

#### i. Instrument aktif

Instrumen aktif merupakan instrument yang menggunakan sumber daya dari luar / *external power source* (baterai) dari luar untuk menghasilkan suatu besaran yang diukur dari sebuah instrument. Contoh dari instrument aktif dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini :

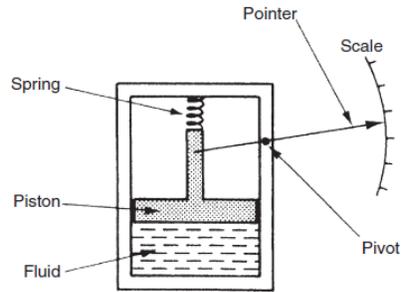


**Gambar 2.4 Contoh instrumen aktif [9]**

Dari gambar 2.4 dapat dilihat ketika level fluida berubah maka akan menggerakkan sebuah pointer yang dihubungkan ke sebuah potensiometer. Gerakan pointer ini akan menghasilkan perubahan resistansi pada potensiometer sehingga perubahan pada level fluida ini akan menghasilkan sinyal elektronik yang besarnya proporsional terhadap perubahan level ketinggian fluida.

#### ii. Instrument pasif

Instrumen pasif merupakan instrument yang tidak menggunakan energy dari luar, sehingga hasil pengukuran instrument adalah murni dari perubahan besaran dari sistem. Biasanya instrument jenis pasif menggunakan sistem mekanik sabagai elemen pengkonversi variable. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini :



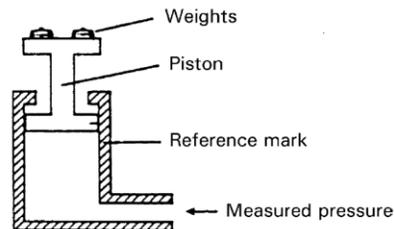
**Gambar 2.5 instrumen jenis pasif [9]**

iii. Instrument defleksi

Instrumen tipe defleksi adalah suatu alat ukur yang menggunakan fenomena defleksi / perubahan posisi menjadi sebuah elemen yang mengkonversi besaran fisik yang akan diukur pada sistem. Contoh dari instrument defleksi dapat dilihat pada gambar 2.5.

iv. Instrument Null

Instrumen tipe null sering disebut juga dead weight instrument, dimana instrument ini menggunakan variable nol sebagai acuan pengukuran. Sebagai contoh pengukuran tekanan ditunjukkan oleh gambar 2.6, dapat dilihat pada gambar sebuah pemberat diletakkan di atas piston dimana pemberat ini akan menekan piston kebawah, ketika tekanan berada pada ruangan maka beban harus terus ditambah hingga mencapai posisi datum / posisi nol. Pengukuran tekanan didasarkan pada nilai beban yang berada pada sistem ketika piston mencapai posisi datum.



**Gambar 2.6 Null type Instrument [9]**

v. Analog instrument

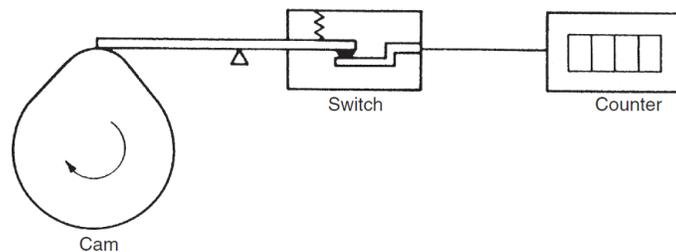
Instrument dengan output analog memiliki range pembacaan yang tidak terbatas, artinya pembacaan tidak dapat dilakukan dengan pasti. Gambar 2.5 dapat dijadikan contoh sebagai instrument yang memiliki keluaran analog. Dimana ketika pointer bergerak maka pointer tersebut dapat bergerak dengan posisi yang jumlahnya tak terbatas sepanjang range pembacaan tersebut. Jumlah posisi yang dapat dilihat oleh user terbatas oleh kemampuan penglihatan manusia, sehingga perubahan hanya dapat dilihat berdasarkan berapa besar skala meter pada instrument dan berapa jumlah pembagi skala pada instrument tersebut. Sehingga instrument jenis analog ini tidak dapat mengetahui secara pasti besarnya pengukuran, artinya setiap user yang membaca skala ini mungkin berbeda – beda tergantung dari pembaca skala itu sendiri.

vi. Digital instrument

Sebuah instrument tipe digital mempunyai output yang berbentuk diskrit, sehingga memiliki jumlah nilai yang terbatas. Jenis instrument ini dapat dilihat pada gambar 2.7, pada sistem pengukuran ini ketika cam bergerak satu kali putaran maka switch akan tertekan dan kemudian akan dihitung oleh sebuah counter, sistem ini hanya dapat memberikan pengukuran ketika cam melakukan satu kali putaran dan tidak dapat membedakan posisi cam sebelum melakukan satu kali putaran penuh, Perbedaan antara instrument tipe analog dan digital menjadi issue yang sangat penting sejak berkembangnya mikroprosesor dan sistem control. Instrumen dengan output digital dapat diolah oleh sebuah computer sehingga data yang didapatkan dari instrument tipe ini bisa diolah secara digital. Berbeda dengan tipe analog, instrument jenis ini tidak dapat diolah langsung oleh

computer karena instrument jenis ini mengeluarkan output tipe analog, untuk dapat mengolah data ini perlu dilakukan proses konversi ke bentuk digital dengan proses yang disebut *Analog to Digital Converter* (ADC). Tetapi proses konversi ini membutuhkan biaya tambahan dan membutuhkan waktu pengkonversian dari sinyal analog menjadi bentuk digital sehingga hal ini bisa menjadi masalah yang kritis ketika sistem membutuhkan proses yang cepat karena pengkonversian sinyal ini membutuhkan waktu dan akan memperlambat proses kerja.

Keuntungan dari instrument tipe digital daripada tipe analog lainnya adalah instrument digital mempunyai pembacaan yang jelas karena hanya menunjukkan satu nilai pasti daripada instrument tipe analog yang pembacaannya lebih bersifat subjektif.



**Gambar 2.7 Simple digital instrument Cam Counter [9]**

b. Karakteristik pengukuran Statik

Akurasi dari sebuah instrument alat ukur merupakan hal yang perlu diperhatikan karena pentingnya karakteristik ini pada suatu penerapan sistem yang kritis. Akurasi merupakan salah satu karakteristik statik yang dimiliki oleh setiap instrument, karakteristik statik yang dari sebuah instrument dapat dilihat pada penjelasan berikut ini :

i. Akurasi

Akurasi dapat didefinisikan dengan seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya yang diukur. Pada penerapannya menentukan

nilai keakuratan suatu instrumen biasanya disajikan dalam bentuk error pembacaan yang disajikan dalam bentuk persentase nilai. Karena nilai error pada sebuah instrument biasanya berkaitan dengan pembacaan penuh yang dapat dilakukan oleh instrument tersebut. Pengukuran suatu besaran yang menggunakan instrument dengan skala pembacaan yang jauh lebih besar akan menimbulkan error pembacaan relative yang semakin besar pula. Oleh karena itu penting bagi seorang untuk menentukan instrument yang tepat sebagai alat ukurnya. Sebagai contoh dapat dilihat pada kasus ketika seseorang ingin mengukur sebuah tekanan yang besarnya antara 0 – 1 bar maka kurang cocok menggunakan instrument dengan range pengukuran antara 0 – 10 bar. Pengukuran tekanan yang menggunakan instrument dengan tekanan 0 – 10 bar dengan spesifikasi 1% f.s dapat dikalkulasikan nilai error relatifnya sebagai berikut :

Maksimum error yang dapat ditunjukkan oleh instrument dengan range 0 -10 bar dengan 1%f.s adalah  $1\% \times 10 = 0,1$  bar, maka error relative yang terjadi apabila mengukur tekanan sebesar 1 bar maka akan memberikan error relative sebesar 10%.

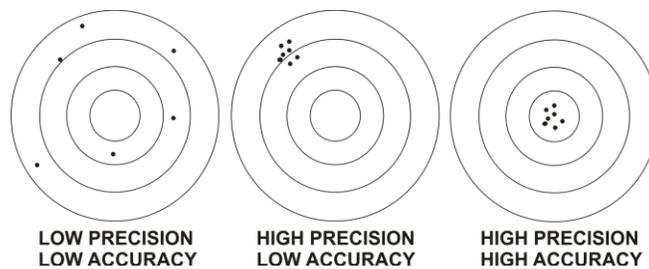
Lain halnya apabila kita menggunakan instrument dengan range pengukuran 0 - 2 bar dengan f.s yang sama sebesar 1% maka error relative yang dihasilkan adalah sebesar 0,5%.

Oleh karena itu penting untuk menentukan instrument dengan range pengukuran yang tepat karena akan menentukan tingkat keakurasian pembacaan.

## ii. Presisi

Presisi merupakan sebuah istilah dalam dunia instrumentasi untuk mendeskripsikan *degree of freedom* dari instrument mengenai random error. Istilah presisi memang sering membingungkan bila

dibandingkan dengan akurasi. Sebuah pengukuran dengan tingkat kepresisian tinggi belum berarti memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Pengukuran dengan tingkat kepresisian tinggi bisa saja memiliki keakurasian rendah karena disebabkan oleh bias pengukuran, namun hal ini dapat diubah dengan melakukan sebuah kalibrasi. Perbedaan presisi dan akurasi dapat dilihat lebih jelas pada gambar 2.8 berikut ini :



**Gambar 2.8 Presisi dan Akurasi [9]**

iii. Toleransi

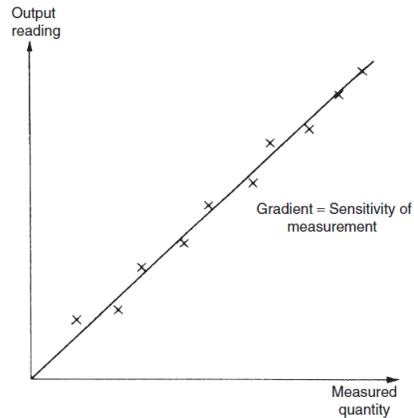
Toleransi merupakan istilah yang dapat diartikan dengan besarnya error maksimum yang dapat diterima dari suatu nilai. Pada kenyataannya toleransi sering didefinisikan sebagai standard deviasi dari sebuah pabrik untuk komponen yang dibuatnya dengan nilai tertentu. Sebagai contoh nilai resistor mempunyai nilai toleransi 5% atau 10% dari nilai aslinya.

iv. Range / daerah ukur

Range / daerah ukur dapat didefinisikan sebagai pengukuran minimum dan maksimum yang dapat dilakukan suatu instrument.

v. Linieritas.

Linieritas dapat didefinisikan sebagai nilai pengukuran yang memiliki deviasi kecil terhadap nilai aslinya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut ini :



**Gambar 2.9 Grafik yang menunjukkan linieritas [9]**

Titik – titik x pada gambar 2.9 menunjukkan pengukuran dari sebuah instrument yang menunjukkan tingkat linieritas. Non-linieritas biasanya didefinisikan sebagai sebagai deviasi maksimum dari sebuah pembacaan yang dihasilkan instrument.

vi. Sensitivitas

Sensitivitas adalah nilai perubahan dari sebuah hasil pembacaan instrument apabila diberi diberikan variasi sejumlah input yang berbeda. Sensitivitas dari pengukuran merupakan gradient garis yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Sensitivitas dapat dirumuskan sebagai perbandingan antara output dengan input yang diberikan.

$$sensitivity = \frac{output}{input}$$

vii. Threshold

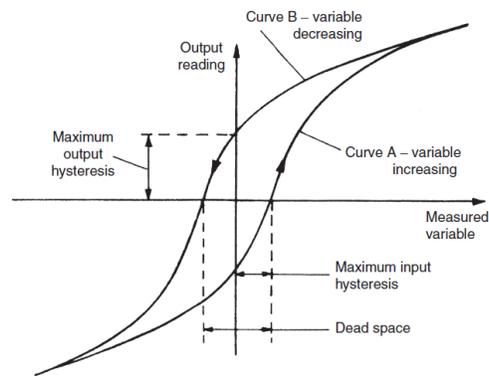
Threshold dapat didefinisikan sebagai minimum input yang harus diberikan pada sebuah instrument untuk bekerja. Sebagai sebuah ilustrasi dapat dilihat pada odometer sepeda motor yang memiliki threshold sebesar 15 km/jam, ketika motor berjalan dengan kecepatan 15 km/jam odometer belum mulai bergerak tetapi ketika sepeda motor bergerak dengan kecepatan lebih dari 15 km/jam odometer baru menunjukkan nilai kecepatan dari sepeda motor.

viii. Resolusi

Ketika sebuah instrument bekerja melakukan pembacaan terdapat batasan yang menunjukkan perubahan terkecil yang dapat ditunjukkan oleh sebuah instrument, Salah satu hal yang mempengaruhi resolusi pengukuran dari sebuah instrument adalah seberapa kecil skala output pembacaan dibagi menjadi sub-divisi.

ix. Histerisis

Hysteresis merupakan hasil pengukuran yang berbeda apabila sebuah input dari pengukuran dilakukan secara naik (*increase*) dan berkurang (*decrease*). Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.10

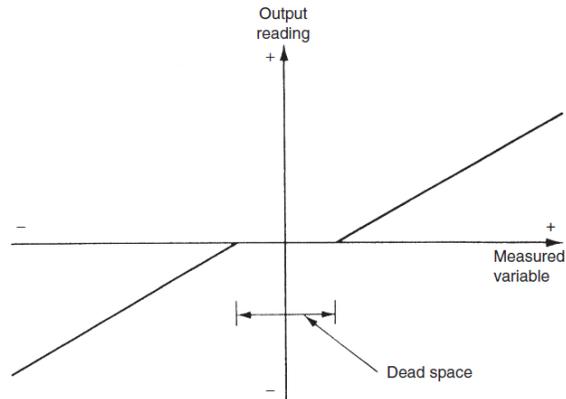


**Gambar 2.10 Hysteresis [9]**

Biasanya hysteresis terjadi pada sebuah instrument yang menggunakan spring / pegas pasif seperti pada passive pressure gauge. Terkadang hal ini terjadi juga ketika terdapat sebuah gaya gesekan pada sistem yang besarnya berbeda yang tergantung dari arah gerakannya.

x. Dead Space

Dead Space merupakan daerah dengan input yang berbeda yang mempunyai hasil pembacaan sama dengan nol / tidak terdapat perubahan pembacaan pada instrument. Peristiwa dead space dapat dilihat pada gambar 2.11



**Gambar 2.11 Dead space [9]**

c. Karakteristik pengukuran dinamik

Karakteristik dinamik dari pengukuran merupakan perilaku yang ada dari instrument yang menunjukkan perubahan waktu ketika dilakukan perubahan masukan dengan waktu ketika output instrument mencapai respon nilai steady-nya. Point utama yang harus dipahami dalam prakteknya adalah dimana bermacam – macam respon yang berbeda dari instrument terjadi ketika input pengukuran / measurand yang diberikan pada tiap instrument bervariasi. Fungsi umum yang menunjukkan hubungan antar input dan output dari sebuah pengukuran instrument secara linier dapat dilihat dari persamaan di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 a_n \frac{d^n q_0}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_0}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dq_0}{dt} + a_0 q_0 \\
 = b_m \frac{d^m q_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} q_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dq_i}{dt} + b_0 q_i \dots [2.1]
 \end{aligned}$$

Persamaan tersebut akan menjadi seperti persamaan di bawah ini apabila dibatasi pada besaran yang diukur saja.

$$a_n \frac{d^n q_0}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_0}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dq_0}{dt} + a_0 q_0 = b_0 q_i \dots [2.2]$$

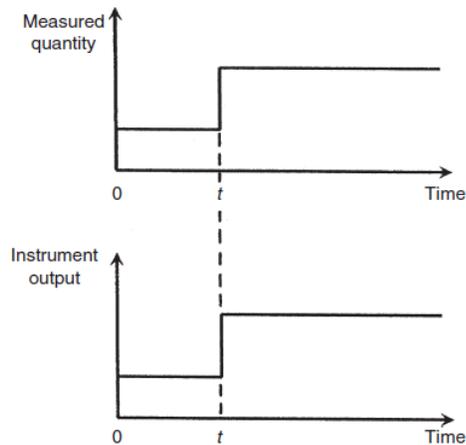
i. Instrumen orde nol

Instrumen orde nol memiliki perilaku seperti yang ditunjukkan pada formula di bawah ini :

$$a_0 q_0 = b_0 q_i \text{ atau } q_0 = \frac{b_0 q_i}{a_0} = K q_i \dots [2.3]$$

Dimana K merupakan sensitivitas dari instrument.

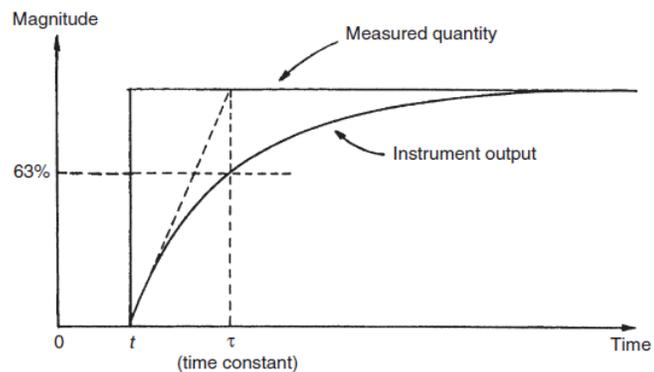
Gambar 2.12 menunjukkan karakteristik perilaku dari instrument orde nol.



**Gambar 2.12 Perilaku instrument orde nol [9]**

ii. Instrument orde Satu

Perilaku instrument orde satu ditunjukkan oleh gambar di bawah ini



**Gambar 2.13 Perilaku instrument orde satu [9]**

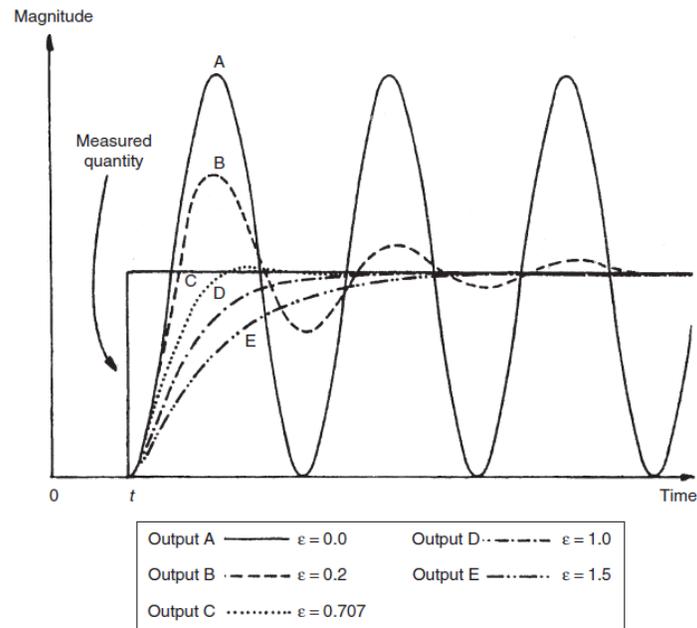
Persamaan perilaku orde satu adalah sebagai berikut:

$$q_0 = \frac{Kq_o}{1 + \tau D} \dots [2.4]$$

Dimana K merupakan sensitivitas dari instrument orde satu yang nilainya adalah  $K = b_0/a_0$  dan time constant  $\tau = a_1/a_0$

iii. Instrumen orde dua

Perilaku instrument orde dua ditunjukkan pada gambar 2.14



**Gambar 2.14 Perilaku instrument orde dua [9]**

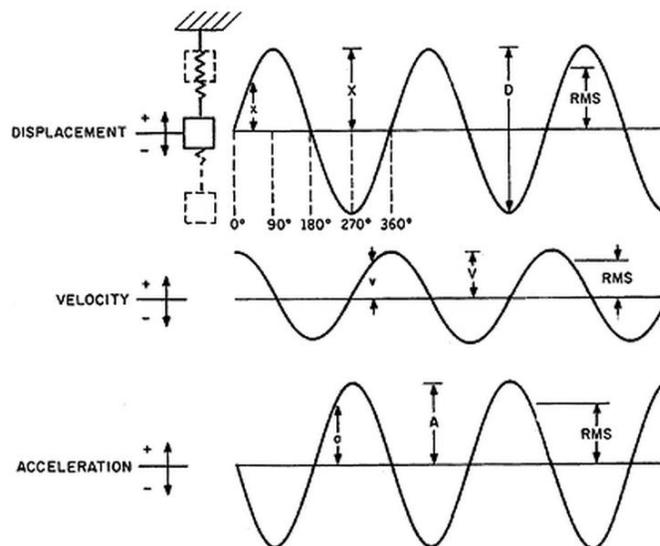
Dengan persamaan

$$q_0 = \frac{(b_0/a_0)q_i}{1 + (a_1/a_0)D + (a_2/a_0)D^2} \dots [2.4]$$

d. Pengukuran Getaran

Getaran merupakan sebuah fenomena mekanis dimana terjadi gerakan osilasi yang melewati sebuah titik keseimbangan baik secara periodik ataupun non-periodik. Getaran dapat dibagi menjadi dua tipe, getaran bebas (*Free Vibration*) dan getaran paksa (*Forced Vibration*). Getaran bebas terjadi apabila suatu sistem diberikan sebuah kondisi awal (biasanya

defleksi) kemudian sistem akan bergetar secara bebas, sebagai contoh yang mudah dipahami sebuah sistem massa dan pegas yang diberikan defleksi sebesar  $x$  kemudian dilepaskan maka sistem tersebut akan bergetar secara bebas. Getaran paksa / *forced vibration* terjadi apabila sebuah gaya eksternal dikenakan pada sistem secara kontinyu pada frekuensi tertentu. Karena getaran merupakan gerakan osilasi maka pada fenomena tersebut terdapat perubahan jarak, kecepatan dan akselerasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.14



**Gambar 2.15 Hubungan fase antara Displacement, Velocity, Acceleration [9]**

Sistem massa dan pegas dengan satu derajat kebebasan pada gambar 2.14 apabila dipertahankan melakukan gerakan dengan amplitude konstan akan menghasilkan gerakan harmonic atau apabila gerakan tersebut diplot ke dalam grafik pada sumbu Y dan waktu pada sumbu X maka akan menghasilkan kurva sinusoid.

Dari gambar 2.14 bisa didapatkan persamaan gerakan

$$x = A \sin 2\pi f t \dots [2.5]$$

Kecepatan didefinisikan sebagai perubahan posisi tiap satuan waktu, dengan begitu kecepatan juga merupakan turunan dari posisi

$$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = 2\pi f A \cos 2\pi f t \dots [2.6]$$

Akselerasi didefinisikan sebagai perubahan kecepatan tiap satuan waktu atau merupakan turunan dari kecepatan

$$a = \dot{v} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -4\pi^2 f^2 A \sin 2\pi f t \dots [2.7]$$

Jadi getaran pada dasarnya dapat diukur melalui ketiga hal tersebut yaitu perubahan posisi, kecepatan dan akselerasi. Berikut merupakan instrument yang dapat digunakan untuk mengukur getaran berdasarkan ketiga parameter tersebut.

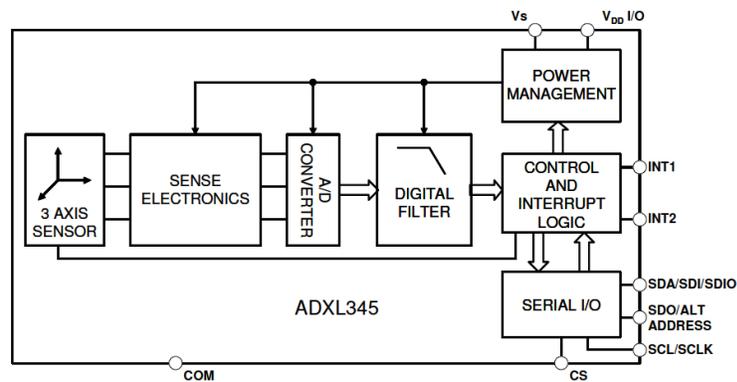
- i. Perubahan posisi (Displacement)
  - Optical
  - Proximity probes
  - Eddy current
  - LVDT
  - Capacitive
  - Hall Effect
- ii. Kecepatan (Velocity)
  - Laser Vibrometer
- iii. Akselerasi (Acceleration)
  - Akselerometer

### 2.1.3 Desain *Hardware*

#### a. *Wireless Smart Sensor*

##### i. MEMS Accelerometer

ADXL345 merupakan akselerometer 3 axis, low power, berukuran tipis dan kecil 3mm x 5mm x 1 mm yang memiliki range pengukuran  $\pm 2g$  -  $\pm 16g$  dengan resolusi tinggi 13bit [10]. Blok diagram dari ADXL345 ditunjukkan oleh gambar 2.14



**Gambar 2.16 ADXL345 Blok Diagram [10]**

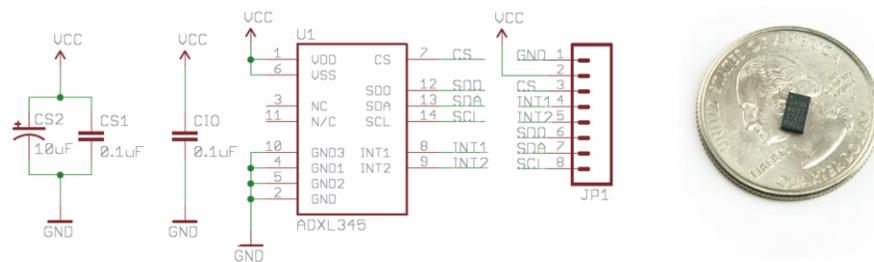
Dari blok diagram dapat dilihat bahwa di dalam sensor akselerometer ADXL345 terdapat proses pengkondisian sinyal diantaranya perubahan dari sinyal analog ke sinyal digital (ADC), filtering sinyal digital, power management dan serial controller untuk berkomunikasi dengan sensor ADXL345.

Sensor ADXL345 merupakan sensor yang dibuat dengan teknologi mikromachning dengan struktur polysilicon yang dibuat diatas silicon wafer. Polysilicon spring menahan struktur permukaan dari wafer dan memberikan resistansi yang menahan akselerasi.

Defleksi dari struktur diukur menggunakan differensial kapasitor yang terdiri dari fixed plates yang bebas dan plates yang dihubungkan dengan massa yang bergerak. Akselerasi memberikan defleksi pada beam dan

memberikan efek unbalance pada diferensial kapasitor yang menghasilkan output sensor proporsional amplitudo terhadap akselerasi.

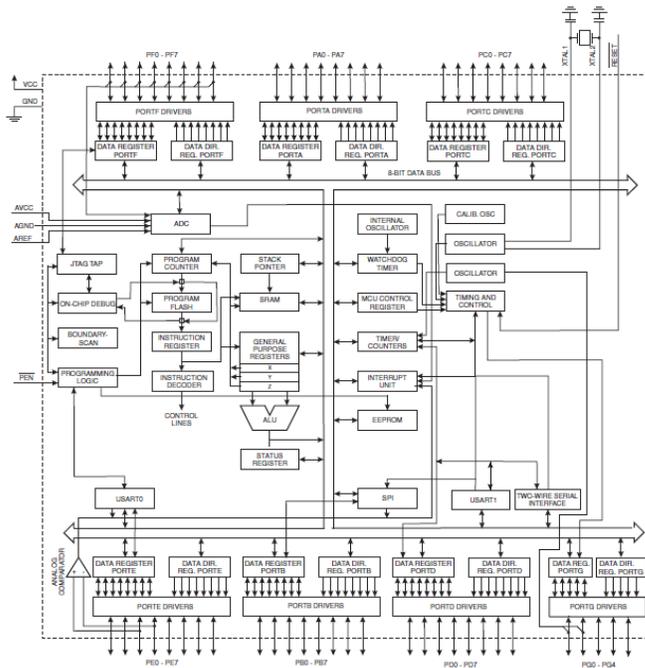
Sensor ADXL345 pada smart sensor yang dibuat kali ini berlaku sebagai slave yang dikendalikan oleh mikroprosesor ATmega128. Untuk mendapatkan data, mengubah resolusi dan range pengukuran sensor ADXL345 dapat dilakukan dengan komunikasi serial SPI (3 or 4 wire) atau  $I^2C$  digital interface.



**Gambar 2.17 (a) skematik ADXL345 (b) ADXL345**

ii. ATmega128

ATmega128 merupakan chip low power CMOS 8bit dengan AVR RISC arsitektur. ATmega128 dapat mengeksekusi 1MIPS tiap MHz clock sehingga dapat memberikan keuntungan bagi pengguna dalam *power consumption vs processing speed*. Blok diagram dari ATmega 128 ditunjukkan pada gambar 2.17 dibawah ini. ATmega128 menyediakan feature sebagai berikut : 128Kbytes In System Programmable Flash, 4Kbytes EEPROM, 4Kbytes SRAM, 53 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, Real Time Counter (RTC), 8 Channel 10-bit ADC dan lainnya [11].



**Gambar 2.18 ATmega 128 Blok Diagram [11]**

Pada smart sensor yang dibuat ini mikroprocessor ATmega128 digunakan sebagai pusat pengendali kegiatan smart sensor, tidak semua fitur pada chip ini digunakan, fitur yang digunakan pada smart sensor ini antara lain : komunikasi serial asinkron (USART) dengan kecepatan 9600bps, serial sinkron I<sup>2</sup>C, 4 general I/O.



**Gambar 2.19 ATmega 128**

iii. *Wireless Communication Module XBee-pro*

Smart sensor kali ini dilengkapi dengan *wireless communication module* produksi Maxstream XBee-Pro dengan frekuensi kerja 2.4GHz. *Interfacing* antara mikrokontroller dengan modul ini dilakukan dengan menggunakan serial asinkron UART dengan baud rate 9600bps. Dengan modul ini *smart sensor* secara teoritis dapat mengirimkan data dengan range sejauh 100m indoor dan 1,6 km outdoor *line of sight*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di datasheet produk XBee-Pro series 2 [12].



**Gambar 2.20 XBee-Pro series 2 [12]**

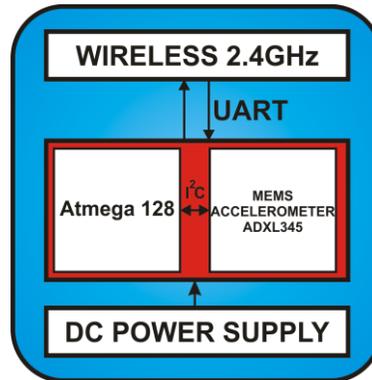
b. *Base Station*

Di dalam rangkaian base station hanya terdapat sebuah chip yang berfungsi untuk mengkonversi data dari bentuk serial ke paket USB sehingga dapat dibaca langsung oleh sebuah komputer. *Base station* sendiri merupakan satu kesatuan yaitu sebuah rangkaian *receiver* yang dihubungkan ke komputer via USB.

➤ USB to Serial ( FT232BL )

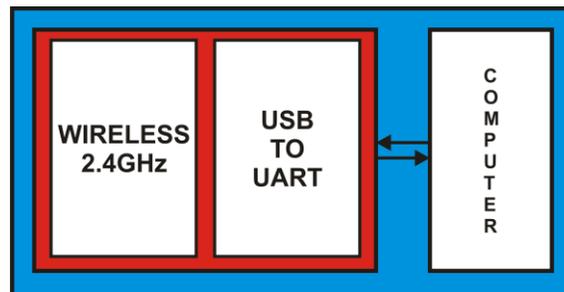
FT232BL merupakan chip USB to serial converter produksi FTDI. Skematik dari rangkaian USB to serial yang ada pada base station dapat dilihat pada gambar 2.20





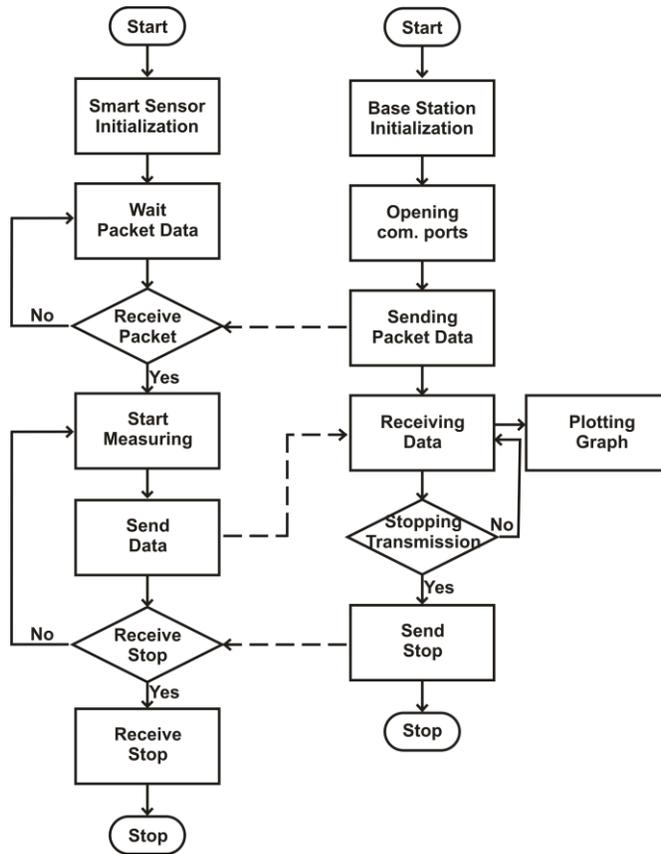
**Gambar 2.23 Wireless Smart Sensor**

*Base Station* dibagi menjadi dua bagian dapat dilihat pada gambar 2.23



**Gambar 2.24 Base Station**

*Wireless smart sensor* akan mulai bekerja ketika power dihidupkan dan akan menunggu perintah dari user yang melalui base station. Di bagian *base station* user menentukan parameter – parameter yang akan diukur oleh wireless smart sensor seperti range pengukuran, resolusi dan memulai pengukuran. Ketika wireless smart sensor menerima informasi dari base station kemudian smart sensor akan mulai melakukan pengukuran dan secara *realtime* parameter getaran yang diukur dari sistem akan terus dikirimkan ke *base station* selama tidak terdapat perintah dari *base station* untuk menghentikannya. Base station yang mendapatkan data dari wireless smart sensor akan mensintesis data dan mengolahnya menjadi bentuk grafik *time domain* dan *frequency domain* yang dapat digunakan untuk menganalisa kondisi kesehatan sistem. Berikut merupakan diagram alir dari smart sensor dan base station.



**Gambar 2.25 Diagram Alir Sistem Komunikasi Smart Sensor dengan Base Station**

### 2.3 Condition Based Monitoring

*Condition Monitoring* adalah suatu metode yang dilakukan dengan memonitor kondisi sistem pada waktu tertentu untuk memprediksi kondisi sistem pada masa yang akan datang dengan mengoleksi dan meng-extract informasi dari sistem seperti getaran, temperature, lingkungan dan analisis lubricant [2]. Metode CBM memungkinkan untuk mengetahui kondisi internal dari sistem ketikasistem tersebut beroperasi. *Vibration Based Condition Monitoring* merupakan salah satu metode CBM, sebuah sistem mekanis pada kondisi standar memiliki tanda – tanda getaran yang wajar. Ketika terjadi kejanggalan sistem akan mengeluarkan getaran yang berbeda pada kondisi standar, tanda ini dapat digunakan untuk mendeteksi kegagalan pada sistem (*fault detection*). *Fault detection* dapat dilakukan dengan membandingkan *trend* hasil pengukuran sinyal

dari sistem dengan sinyal pada saat kondisi normal. Pada *Vibration Based Condition Monitoring* analisis sinyal getaran merupakan hal yang sangat penting. Tiga kategori utama dari analisis sinyal getaran diantaranya *time domain*, *frequency domain* dan *time frequency domain*.

### 2.3.1 Time domain

Karakteristik yang dapat didapatkan dari *time domain* antara lain seperti periode, peak, mean, standard deviasi dan orde statistic yang lebih tinggi seperti *root mean square* (RMS), *skewness* dan kurtosis.

#### a. Mean

Dalam hal ini mean menggambarkan besarnya akselerasi rata – rata yang terjadi, besarnya akselerasi dinyatakan dalam bentuk *g* (*g-force*) dimana nilai 1*g* sama dengan 9.81m/s<sup>2</sup>.

$$\bar{g} = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{n} \dots [2.8]$$

#### b. Standard Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{(g_1 - \bar{g})^2 + (g_2 - \bar{g})^2 + \dots + (g_n - \bar{g})^2}{n}} \dots [2.9]$$

#### c. Root Mean Square (RMS)

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{n}\right)^2} \dots [2.10]$$

#### d. Skewness

$$skewness = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^3}{\sigma^3} \dots [2.11]$$

#### e. Kurtosis

$$kurtosis = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i^4}{\sigma^3} \dots [2.12]$$

### 2.3.2 Frequency domain

*Frequency domain* analysis dilakukan dengan mengubah sinyal gelombang *time domain* ke dalam *frequency domain*. Metode yang paling umum digunakan untuk konversi dari time ke frekuensi domain adalah dengan menggunakan *fast fourier transform* (FFT).

#### a. FFT

*Fast fourier transform* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mempercepat konversi dari time domain ke frekuensi domain dari *Discrete Fourier Transform* (DFT). Untuk mengubah sinyal diskrit  $g(i)$  menjadi sinyal dalam domain frekuensi  $G(i)$  digunakan formula DFT [14] :

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-\frac{2\pi ink}{N}} \quad k = 0, \dots, N-1, \dots [2.13]$$

Atau dalam bentuk matriks

$$X_k = \frac{1}{N} W_{kn} x_k \quad X_k = [X_0, \dots, X_{N-1}] \text{ dan } x_k = [x_0, \dots, x_{N-1}] \dots [2.14]$$

### 2.3.3 Time – frequency

Analisis *time – frequency* mengkombinasikan kedua sinyal time domain dan frekuensi domain sehingga hal ini memungkinkan untuk dapat mengetahui feature transient seperti dampak dan kegagalan [15]. Analisis *time - frequency* juga memungkinkan untuk memonitoring frekuensi terhadap waktu. Metode yang biasa digunakan untuk analisis ini adalah *Short Time Fourier Transform* (STFT) dan *Wigner-Ville Distribution* (WVD) [16].

#### a. Short Time Fourier Transform

STFT dilakukan dengan cara memindahkan time windowing sepanjang pengukuran dan mendapatkan *fourier spectrum* sebagai fungsi dari pergeseran waktu (*time-shift*). Namun STFT mempunyai masalah dengan resolusi karena adanya ketidakpastian dalam suatu time window. Rumus dari STFT ditunjukkan di bawah ini :

$$S(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau)\exp(-j2\pi ft)dt \dots [2.15]$$

Dimana  $w(t)$  merupakan windowing yang berjalan sepanjang waktu pengukuran. Window dapat berupa finite length seperti Hanning window atau infinite length seperti Gaussian window.

b. Wigner-Ville Distribution

Tak seperti STFT, WVD dapat menghilangkan efek ketidakpastian sehingga mempunyai resolusi yang lebih tinggi daripada STFT.

$$C_x(t, f, \phi) = \mathfrak{F}[R(t; \tau)] \dots [2.16]$$

$$R(t; \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(u + \frac{\tau}{2}\right)x^*\phi((t - u), \tau) du \dots [2.17]$$