

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan Proyek Akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. Kurnia Asep, 2012. Dalam arsipnya di Udiklat Suralaya Banten yang berjudul **CHLORINATION PLANT**.

Chlorine dalam bentuk *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) dipergunakan untuk memproteksi sistem air laut terhadap pengotoran oleh makro dan mikro-organisme. *Chlorine* adalah zat beracun, dosis yang besar dapat membunuh kehidupan dalam laut dan pertumbuhan tanaman laut. Karena itu pemakaian *chlorine* ini harus diatur agar *chlorine* sisa pada outlet sistem air pendingin tetap dibawah ambang batas yang aman.

2. Setiawan iwan, 2009. Dalam arsipnya di Universitas Diponegoro Semarang yang berjudul **SENSOR DAN TRANSDUSER**.

Sensor tekanan memiliki *transduser* yang mengukur ketegangan kawat, dimana mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Dasar pengindraannya pada perubahan tahanan pengantar (*transduser*) yang berubah akibat perubahan panjang dan luas penampangnya. Sensor kecepatan merupakan proses kebalikan dari suatu motor, dimana suatu poros atau objek yang berputar pada suatu generator akan menghasilkan suatu tegangan yang sebanding dengan kecepatan putaran objek.

2.2 Landasan Teori

Pengukuran aliran mulai dikenal sejak tahun 1732 ketika Henry Pitot mengatur jumlah fluida yang mengalir. Dalam pengukuran fluida perlu

ditentukan besaran dan vektor kecepatan aliran pada suatu titik dalam fluida dan bagaimana fluida tersebut berubah dari titik ke titik.

2.2.1 Pengukuran kuantitas

Pengukuran ini memberikan petunjuk yang sebanding dengan kuantitas total yang telah mengalir dalam waktu tertentu. Fluida mengalir melewati elemen primer secara berturutan dalam kuantitas yang kurang lebih terisolasi dengan secara bergantian mengisi dan mengosongkan bejana pengukur yang diketahui kapasitasnya.

Pengukuran kuantitas diklasifikasikan menurut :

1. Pengukur gravimetri atau pengukuran berat
2. Pengukur volumetri untuk cairan
3. Pengukur volumetri untuk gas

2.2.2 Pengukuran laju aliran

Laju aliran Q merupakan fungsi luas pipa A dan kecepatan V dari cairan yang mengalir lewat pipa, yakni:

$$Q = A.V \quad (2-1)$$

tetapi dalam praktek, kecepatan tidak merata, lebih besar di pusat. Jadi kecepatan terukur rata-rata dari cairan atau gas dapat berbeda dari kecepatan rata-rata sebenarnya. Gejala ini dapat dikoreksi sebagai berikut:

$$Q = K.A.V \quad (2-2)$$

di mana K adalah konstanta untuk pipa tertentu dan menggambarkan hubungan antara kecepatan rata-rata sebenarnya dan kecepatan terukur. Nilai konstanta ini bisa didapatkan melalui eksperimen.

Pengukuran laju aliran digunakan untuk mengukur kecepatan cairan atau gas yang mengalir melalui pipa. Pengukuran ini dikelompokkan lagi menurut jenis bahan yang diukur, cairan atau gas, dan menurut sifat-sifat elemen primer sebagai berikut:

1. Pengukuran laju aliran untuk cairan:
 - a. jenis baling-baling defleksi
 - b. jenis baling-baling rotasi

- c. jenis baling-baling heliks
- d. jenis turbin
- e. pengukur kombinasi
- f. pengukur aliran magnetis
- g. pengukur aliran ultrasonic
- h. pengukur aliran kisaran (*vorteks*)
- i. pengukur pusaran (*swirl*)

2. Pengukuran laju aliran gas

- a. jenis baling-baling defleksi
- b. jenis baling-baling rotasi
- c. jenis termal

2.2.3 Pengukuran metoda diferensial tekanan

Jenis pengukur aliran yang paling luas digunakan adalah pengukuran tekanan diferensial. Pada prinsipnya beda luas penampang melintang dari aliran dikurangi dengan yang mengakibatkan naiknya kecepatan, sehingga menaikkan pula energi gerakan atau energi kinetis. Karena energi tidak bisa diciptakan atau dihilangkan (Hukum perpindahan energi), maka kenaikan energi kinetis ini diperoleh dari energi tekanan yang berubah.

Lebih jelasnya, apabila fluida bergerak melewati penghantar (pipa) yang seragam dengan kecepatan rendah, maka gerakan partikel masing-masing umumnya sejajar disepanjang garis dinding pipa. Kalau laju aliran meningkat, titik puncak dicapai apabila gerakan partikel menjadi lebih acak dan kompleks.

Kecepatan kira-kira di mana perubahan ini terjadi dinamakan kecepatan kritis dan aliran pada tingkat kelajuan yang lebih tinggi dinamakan *turbulen* dan pada tingkat kelajuan lebih rendah dinamakan *laminer*.

$$R_D = \frac{D\rho V}{\mu} \quad (2-3)$$

Kecepatan kritis dinamakan juga angka Reynold, dituliskan tanpa dimensi:

di mana :

D = dimensi penampang arus fluida, biasanya diameter

ρ = kerapatan fluida

V = kecepatan fluida

μ = kecepatan absolut fluida

Batas kecepatan kritis untuk pipa biasanya berada diantara 2000 dan 2300.

Pengukuran aliran metoda ini dapat dilakukan dengan banyak cara misalnya: menggunakan pipa venturi, pipa pitot, *orifice plat* (lubang sempit), *turbine flow meter*, rotameter, cara *thermal*, menggunakan bahan radio aktif, elektromagnetik, *ultra sonic* dan *flowmeter gyro*. Cara lain dapat dikembangkan sendiri sesuai dengan kebutuhan proses. Yang dibahas dalam buku ini adalah sensor laju aliran berdasarkan perbedaan tekanan.

2.2.4 Sensor Aliran Berdasarkan Perbedaan Tekanan

Metoda ini berdasarkan Hukum Bernoulli yang menyatakan hubungan :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad (2-4)$$

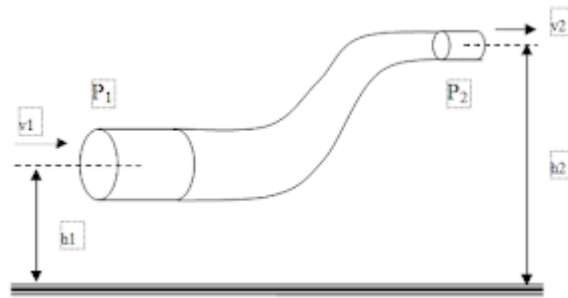
dimana: P = tekanan fluida

ρ = masa jenis fluida

v = kecepatan fluida

g = gravitasi bumi

h = tinggi fluida (elevasi)



Gambar 2.1 Hukum Kontinuitas

Perhatian : Rumus diatas hanya berlaku untuk aliran *Laminer*, yaitu aliran yang memenuhi prinsip kontinuitas.

Pipa pitot, *orifice plate*, pipa venturi dan *flow Nozzle* menggunakan hukum Bernoulli diatas. Prinsip dasarnya adalah membentuk sedikit perubahan kecepatan dari aliran fluida sehingga diperoleh perubahan tekanan yang dapat diamati. Pengubahan kecepatan aliran fluida dapat dilakukan dengan mengubah diameter pipa, hubungan ini diperoleh dari Hukum kontinuitas aliran fluida.

Perhatikan rumus berikut:

$$A_1 \times D_1 = A_2 \times D_2 \quad (2-5)$$

di mana : A = luas penampang pipa

D = debit fluida

Karena debit fluida berhubungan langsung dengan kecepatan fluida, maka jelas kecepatan fluida dapat diubah dengan cara mengubah diameter pipa.

Kelompok sensor aliran:

1. *Pressure based flow sensors*
2. *Turbine flow sensors*
3. Jenis khusus

2.2.5 Pressure Based Flow Sensors

1. Orifice Plate

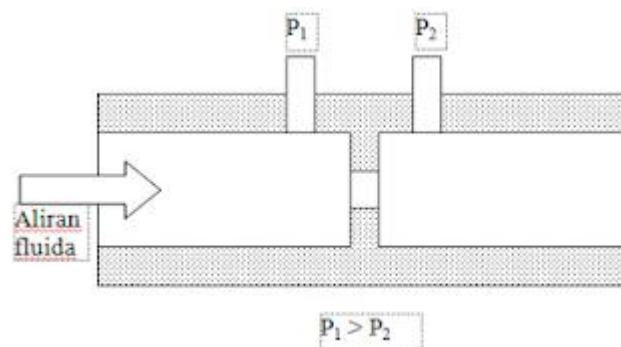
Alat ukur terdiri dari pipa dimana dibagian dalamnya diberi pelat berlubang lebih kecil dari ukuran diameter pipa. Sensor tekanan diletakan disisi pelat bagian inlet (P_1) dan satu lagi dibagian sisi pelat bagian *outlet* (P_2). Jika terjadi aliran dari *inlet* ke *outlet*, maka tekanan P_1 akan lebih besar dari tekanan *outlet* P_2 .

Keuntungan utama dari *Orifice plate* ini adalah dari :

- Konstruksi sederhana
- Ukuran pipa dapat dibuat persis sama dengan ukuran pipa sambungan.
- Harga pembuatan alat cukup murah
- Output* cukup besar

Kerugian menggunakan cara ini adalah :

- Jika terdapat bagian padat dari aliran fluida, maka padat bagian tersebut akan terkumpul pada bagian pelat disisi *inlet*.
- Jangkauan pengukuran sangat rendah
- Dimungkinkan terjadinya aliran *Turbulen* sehingga menyebabkan kesalahan pengukuran jadi besar karena tidak mengikuti prinsip aliran *Laminer*.
- Tidak memungkinkan bila digunakan untuk mengukur aliran fluida yang bertekanan rendah.



Gambar 2.2 Orifice Plate

2. Pipa Venturi

Bentuk lain dari pengukuran aliran dengan beda tekanan adalah pipa venturi.

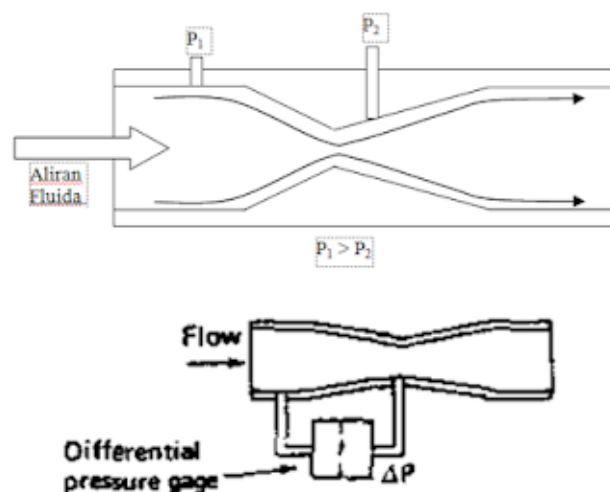
Pada pipa venturi, pemercepat aliran fluida dilakukan dengan cara membentuk corong sehingga aliran masih dapat dijaga agar tetap laminar. Sensor tekana pertama (P_1) diletakkan pada sudut tekanan pertama dan sensor tekanan kedua diletakkan pada bagian yang plaing menjorok ke tengah. Pipa venturi biasa dipergunakan untuk mengukur aliran cairan.

Keuntungan dari pipa venturi adalah:

- Partikel padatan masih melewati alat ukur
- Kapasitas aliran cukup besar
- Pengukuran tekana lebih baik dibandingkan orifice plate.
- Tahan terhadap gesakan fluida.

Kerugiannya adalah:

- Ukuran menjadi lebih besar
- Lebih mahal dari *orifice plate*
- Beda tekanan yang ditimbulkan menjadi lebih kecil dari *orifice plate*.



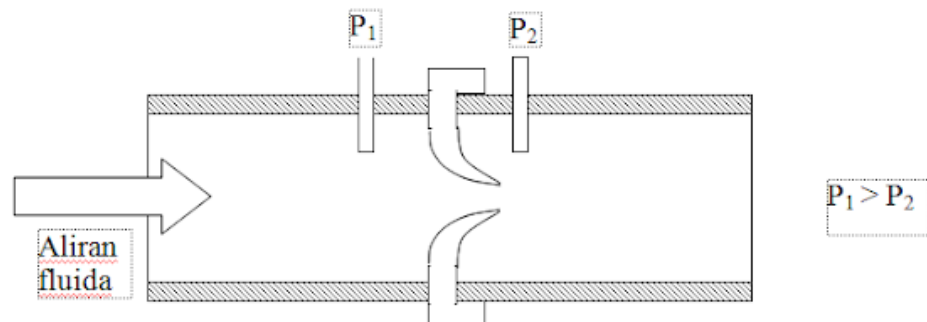
Gambar 2.3 Pipa Venturi

3. Flow Nozzle

Tipe *Flow Nozzle* menggunakan sebuah corong yang diletakkan diantara sambungan pipa sensor tekanan P_1 dibagian *inlet* dan P_2 dibagian *outlet*. Tekanan P_2 lebih kecil dibandingkan P_1 .

Sensor jenis ini memiliki keunggulan dibanding *venture* dan *orifice plate* yaitu:

1. Masih dapat melewati padatan
2. Kapasitas aliran cukup besar
3. Mudah dalam pemasangan
4. Tahan terhadap gesekan fluida
5. Beda tekanan yang diperoleh lebih besar daripada pipa venturi
6. Hasil beda tekanan cukup baik karena aliran masih laminar



Gambar Flow Nozzle

Gambar 2.4 Pipa Nozzle

4. Pipa Pitot

Pitot *tube* ialah pipa terbuka kecil dimana permukaannya bersentuhan langsung dengan aliran. Terdiri dari 2 pipa, yaitu :

- a. *Static tube* (untuk mengukur tekanan statis)

Pipa ini membuka secara tegak lurus sampai ke aliran sehingga dapat diketahui tekanan statisnya.

- a. *Impact/stagnation tube* (untuk mengukur tekanan stagnasi = *velocity head*)

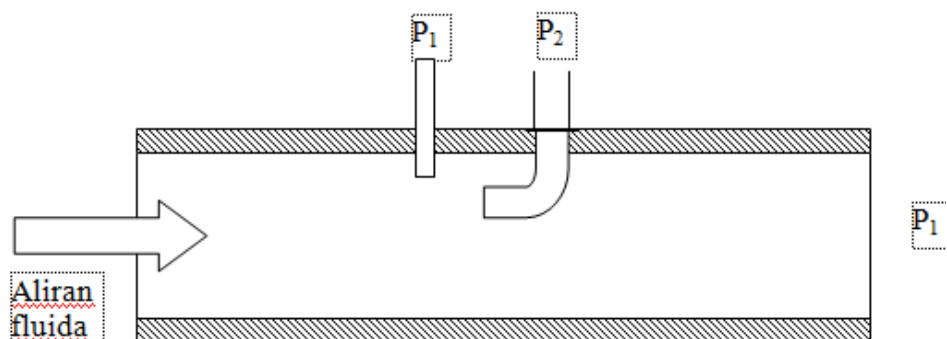
Impact pressure selalu lebih besar daripada *static pressure* dan perbedaan antara kedua tekanan ini sebanding dengan kecepatan.

Konstruksi pipa ini adalah berupa pipa biasa sedang di bagian tengah pipa diselipkan pipa kecil yang dibengkokkan ke arah *inlet*. Jenis pipa ini jarang dipergunakan di industri karena dengan adanya pipa kecil di bagian tengah akan menyebabkan benturan yang sangat kuat terhadap aliran fluida. Alat ini hanya dipergunakan untuk mengukur aliran fluida yang sangat lambat.

Cara kerja *pitot tube* :

- Pipa yang mengukur tekanan statis terletak secara radial pada batang yang dihubungkan ke manometer (pstat)
- Tekanan pada ujung pipa di mana fluida masuk merupakan tekanan stagnasi(p_0)
- Kedua pengukuran tekanan tersebut dimasukkan dalam persamaan Bernoulli untuk mengetahui kecepatannya

Sulit untuk mendapat hasil pengukuran tekanan stagnasi secara nyata karena adanya friksi pada pipa. Hasil pengukuran selalu lebih kecil dari kenyataan akibat faktor C (friksi empirik)

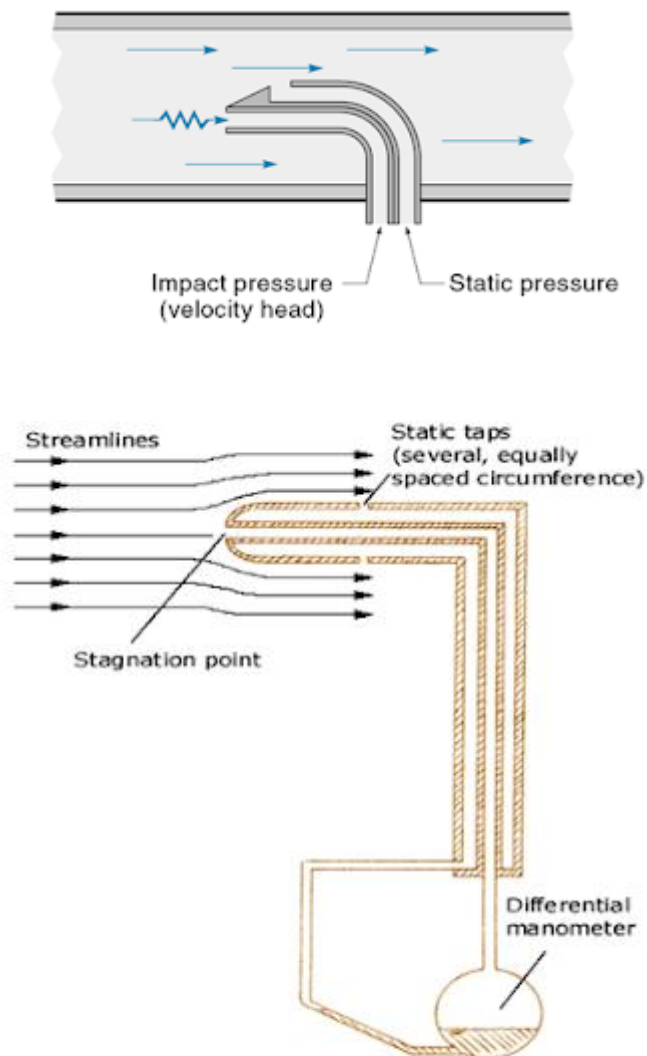


Gambar 2.5 Pipa Pitot

Prinsip dari pitot tube :

- Energi kinetik dikonversikan menjadi *static pressure head*

2. Aplikasi pipa pitot
3. Mengukur kecepatan pada pesawat (*airspeed*)
4. Altimeter pesawat
5. Mengukur tekanan fluida pada *wind tunnel* (terowongan angin)



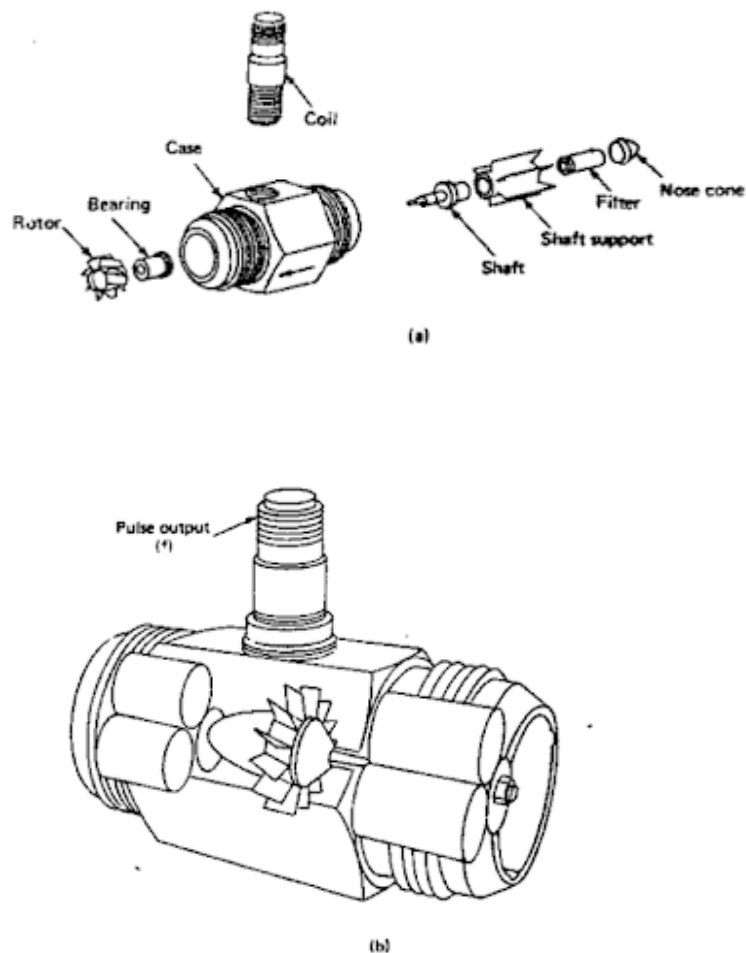
Gambar 2.6 Skema Pipa Pitot

2.2.6 Turbine Flow Sensors

Turbine flow sensors disebut juga *flow meter*, menggunakan tongkat roda (*paddle wheel*) atau baling-baling yang diletakkan pada

garis aliran. Kecepatan rotasi dari roda berbanding langsung dengan kecepatan aliran.

Aliran medium akan mengeliminasi tipe sensor ini untuk beberapa aplikasi, khususnya temperatur tinggi atau fluida tipe *abrasive*.



Gambar 2.7 Turbine Flow Sensor

2.2.7 Prinsip Dasar Chlorination

1. Air Laut Dan Kandungannya

Air laut adalah air dari laut atau samudera. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam (terutama, namun tidak seluruhnya, garam dapur/NaCl).

Walaupun kebanyakan air laut di dunia memiliki kadar garam sekitar 3,5 %, air laut juga berbeda-beda kandungan garamnya. Yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya bagian dari Laut Baltik. Yang paling asin adalah di Laut Merah, di mana suhu tinggi dan sirkulasi terbatas membuat penguapan tinggi dan sedikit masukan air dari sungai-sungai. Kadar garam di beberapa danau dapat lebih tinggi lagi.

Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat di dalam batu-batuan dan tanah. Contohnya natrium, kalium, kalsium. Apabila air sungai mengalir ke lautan, air tersebut membawa garam. Ombak laut yang memukul pantai juga dapat menghasilkan garam yang terdapat pada batu-batuan. Lama-kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam. Air tawar lebih ringan dari air asin.

2. Fungsi *Chlorination*

Chlorine dalam bentuk *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) dipergunakan untuk memproteksi sistem air laut terhadap pengotoran oleh makro dan mikro-organisme. *Chlorine* adalah zat beracun, dosis yang besar dapat membunuh kehidupan dalam laut dan pertumbuhan tanaman laut. Karena itu pemakaian *chlorine* ini harus diatur agar *chlorine* sisa pada *outlet* sistem air pendingin tetap dibawah ambang batas yang aman. Sebagai acuan, kita pelajari dulu *Chlorination Plant* kepunyaan Cilegon Combined Cycle.



Gambar 2.8 *Chlorination Plant* UPB Suralaya

3. Elektrolisa Air Laut

Elektrolisa merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektrode dan larutan elektrolit.

Elektrolisa yang terjadi di *chlorination plant* merupakan proses penguraian komposisi air laut untuk menghasilkan *Sodium Hypochlorite*.

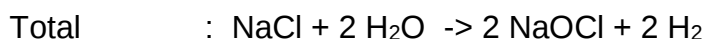
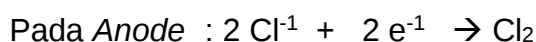
Produk *Hypochlorite* sebanding dengan besarnya arus listrik yang dilewatkan ke dalam *Sel Generator NaOCl (hypochlorite Generator)*. Arus tersebut dapat dikendalikan melalui *Power Supply* untuk mempertahankan besarnya *output NaOCl*, juga temperatur dan alirannya. Hal ini sesuai dengan hukum faraday :

Hukum elektrolisis Faraday

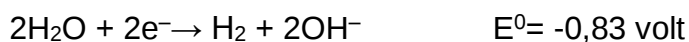
1. Jumlah zat yang dihasilkan di elektroda sebanding dengan jumlah arus listrik yang melalui sel.
2. Bila sejumlah tertentu arus listrik melalui sel, jumlah mol zat yang berubah di elektroda adalah konstan tidak bergantung

jenis zat. Misalnya, kuantitas listrik yang diperlukan untuk mengendapkan 1 mol logam monovalen adalah 96 485 C(Coulomb) tidak bergantung pada jenis logamnya

Seperti diketahui, ion yang paling dominan dalam air laut adalah *Sodium* (Na^{+1}) dan *Chloride* (Cl^{-1}). Ion-ion tersebut direaksikan sesuai persamaan dibawah ini :



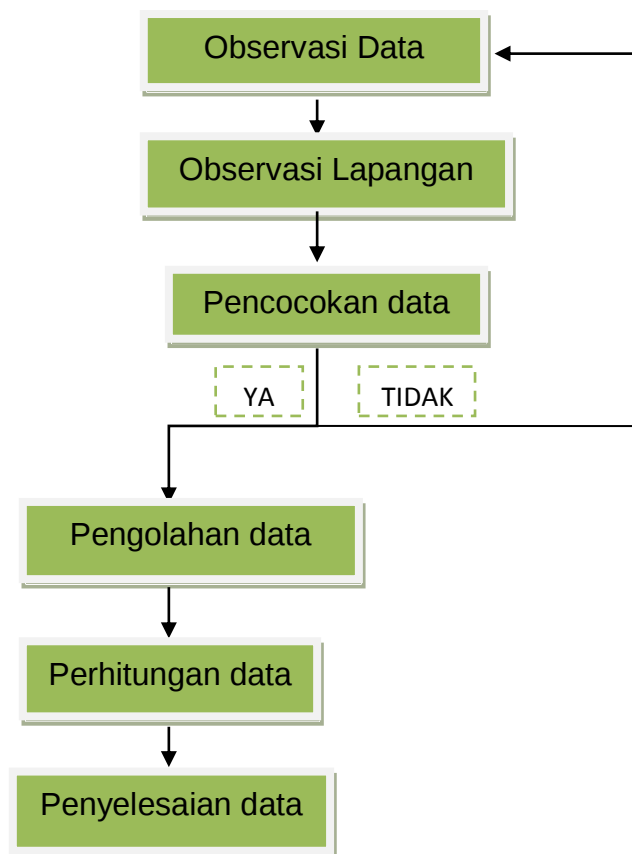
Larutan NaCl yang sangat encer jika dielektrolisis dengan *elektroda inert* (Pt) maka di katoda terbentuk gas H_2 (H_2O terurai) dan di anoda terbentuk O_2 disamping gas Cl_2 (jumlah kecil). Ion H^{+} jauh lebih mudah direduksi daripada ion Na^{+} , sedangkan Cl^{-} jumlahnya kecil daripada H_2O menyebabkan H_2O yang teroksidasi.



Makin besar nilai E^0 makin mudah terjadi reduksi, jadi H_2O lebih mudah mengalami reduksi daripada Na^{+} . Oleh karena itu, pada elektrolisis larutan NaCl ion Na^{+} tidak direduksi, sehingga di katoda tidak terbentuk logam Natrium. Yang berlangsung di katoda adalah reduksi terhadap H_2O menghasilkan gas H_2

Didalam air laut reaksi elektrokimia yang kedua (sekunder) dengan Magnesium dan Calcium dapat terjadi pada sisi *Cathode*. Reaksi dengan Magnesium akan menghasilkan $\text{Mg}(\text{OH})_2$, sedang reaksi dengan Calcium membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.10 Kerangka Pemikiran