

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Sunil Kumar Mishra, Shubhi Purwar, dan Nand Kishor yang mengkaji tentang penerapan logika fuzzy pada Oscillating Water Column (OWC) pembangkit listrik tenaga gelombang laut untuk mencegah stalling pada turbin berjalan dengan baik dan disimpulkan mampu mencegah stalling pada turbin. Pada penelitian ini menggunakan Wound Rotor Induction Generator (WRIG) dengan resistansi rotor eksternal untuk mengatur slip pada rotor, anti – windup PID controller untuk mengatur tekanan udara dan Doubly Fed Induction Generator (DFIG) untuk mengatur kecepatan rotasi (Mishra, Purwar, and Kishor 2017).

Beberapa peneliti mengkaji tentang variasi putaran turbin 200, 500, dan 800 rpm pada pembangkit listrik tenaga gelombang menggunakan Oscillating Water Column (OWC). Gatot Setyono, dan Miftahul Ulum memiliki kesimpulan bahwa turbin akan berkerja secara efektif pada variasi putaran turbin 500 rpm (Setyono & Ulum, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Mauli Bisel Raypa Saragih tentang analisis potensi gelombang laut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan system Oscillating Water Column (PLTGL – OWC) di perairan Selatan Bali memiliki kesimpulan bahwa besar daya listrik dipengaruhi oleh tinggi gelombang laut dan periode gelombang laut tersebut berlangsung (Saragih 2017).

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

Energi terbarukan merupakan solusi untuk menghadapi krisis energi yang terjadi saat ini. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah gelombang laut. Gelombang laut memiliki energi potensial dan kinetik tergantung dengan tinggi, panjang, dan periode gelombang laut tersebut. Potensi energi pada gelombang laut ini dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) (Subagio, dalam Saragih 2017).

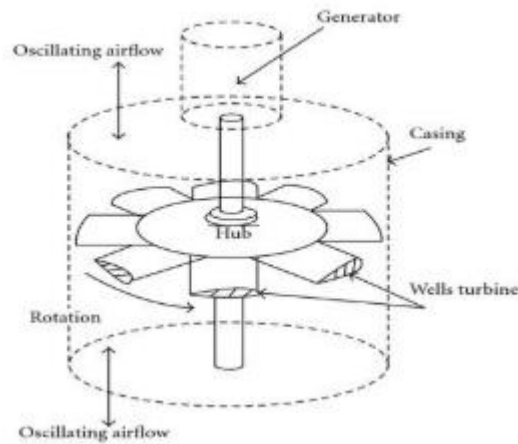
Pada gambar 2.1 dapat dilihat salah satu tipe dari OWC yang paling umum digunakan.



Gambar 2.1 PLTGL – OWC tipe fixed (Aziz 2015).

PLTGL – OWC tipe fixed adalah Pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan tipe OWC yang diposisikan disisi pantai. Keuntungan PLTGL – OWC tipe ini adalah mudahnya dalam penyaluran energi listrik ke darat. Sedangkan untuk kekurangannya yaitu PLTGL – OWC tipe ini harus dibuat dengan penyesuaian dengan ketinggian pasang surut air laut.

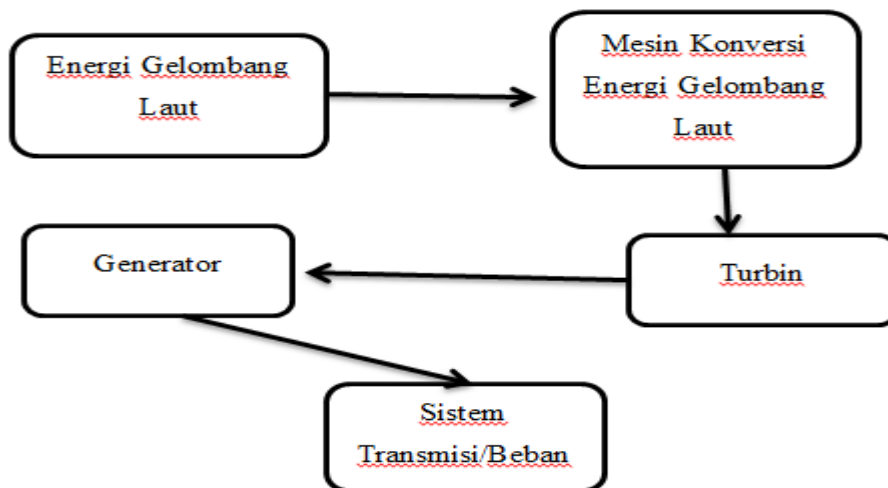
Pada Gambar 2.2 memperlihatkan turbin yang digunakan pada OWC tipe fixed.



Gambar 2.2 Turbin Wells (Aziz 2015).

Turbin Wells merupakan turbin udara dengan tekanan rendah yang berputar secara kontinu dalam satu arah meskipun arah dari aliran udara yang melewatinya berubah. Prof. Allan Arthur Wells dari Queen's dari University Belfast merupakan penemu turbin ini sekitar tahun 1970-an akhir. Blade atau baling – baling pada turbin ini mempunyai bentuk aerofoil dengan bidang rotasi yang simetris dan juga tegak lurus terhadap aliran udara. Pada awalnya turbin ini dibuat untuk pembangkit listrik tenaga ombak, dengan memanfaatkan gerak naik dan turun permukaan air yang bergerak dalam ruang kompresi udara sehingga menghasilkan aliran udara beresilasi. Efisiensi turbin Wells dalam aliran osilasi berkisar antara 0,4 dan 0,7.

Pada Gambar 2.3 menunjukkan skema yang bekerja pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLGL) secara umum.



Gambar 2.3 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)
(Priliawan 2017).

Skema sistem pembangkit listrik gelombang laut tentang konversi energi gelombang laut ke energi listrik. Energi kinetik diperoleh dari proses masuknya energi gelombang laut ke mesin konversi energi. Artinya, naik atau turun gelombang laut menentukan besar nilai pada energi kinetik. Kemudian energi kinetik yang dihasilkan dari mesin konversi energi gelombang laut akan bergerak menuju turbin. Pada turbin mempunyai sebuah generator yang akan bekerja saat energi kinetik dialirkan menuju turbin untuk membuat rotor berputar. Gerak berputar pada rotor inilah yang akan menghasilkan energi mekanik. Kemudian energi mekanik akan bergerak menuju generator dan di dalam generator inilah energi mekanik akan dikonversi ke energi listrik. Lalu energi listrik yang dihasilkan dari generator ini akan ditransmisikan melalui kabel laut (Priliawan 2017).

Prinsip dasar pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut yaitu mengakumulasi besar energi gelombang laut untuk menggerakkan turbin. Pertimbangan tersebut akan dijadikan salah satu patokan utama untuk memilih wilayah yang berdasarkan topografi mempunyai kemungkinan potensi akumulasi energi gelombang laut yang besar. Hingga saat ini pun penelitian masih dilakukan untuk mencari hasil yang terbaik (Azizie, Nuryani, and Nurgroho 2020).

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada saat ini digunakan ada beberapa metode yaitu Oyster Hydraulic Piston System, Wave Dragon, Oscillating Water Column (OWC), Archimedes Wave Swing System.

2.2 Teknologi Oscillating Water Column (OWC)

2.2.1 Pengertian dan Cara Kerja Teknologi Oscillating Water Column (OWC)

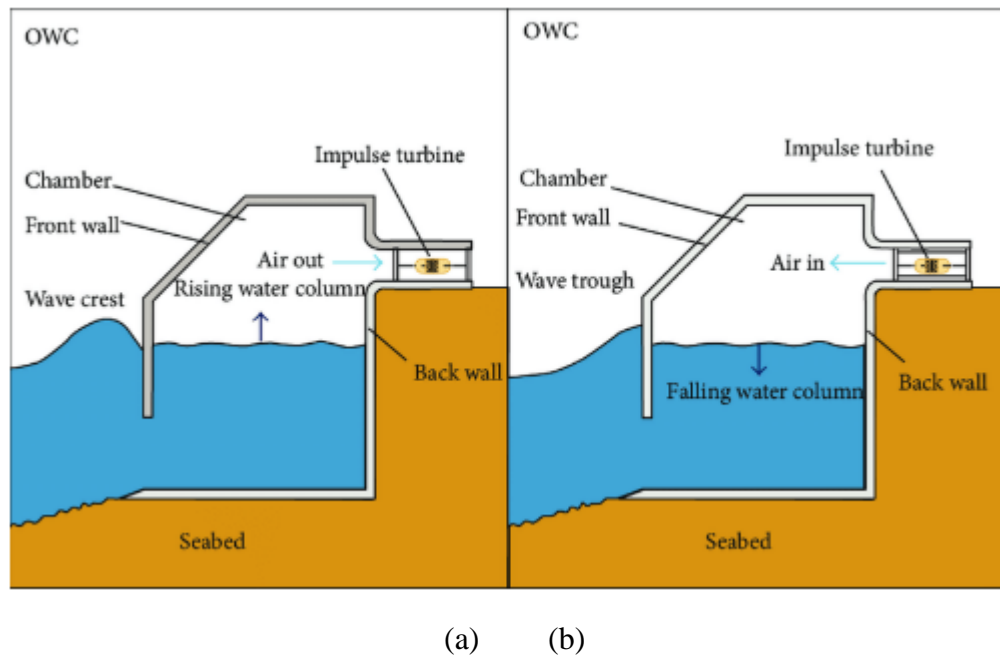
Oscillating Water Column (OWC) merupakan teknologi yang digunakan untuk mengkonversi energi dari gelombang laut menjadi energi listrik dengan

menerapkan prinsip kolom osilasi. Cara kerja sistem Oscillating Water Column (OWC) yaitu dengan menangkap energi gelombang laut yang masuk kearah lubang pintu OWC, sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi atau osilasi dari gerakan air di dalam chamber OWC, sehingga menghasilkan tekanan udara dan tekanan udara inilah yang akan menggerakkan turbin, lalu generator akan mengubah energi pada turbin menjadi energi listrik. Teknologi Oscillating Water Column (OWC) menggunakan wells turbine yang bekerja menggunakan tekanan udara di ruangan kedap air (Setyono and Ulum 2018).

Oscillating Water column (OWC) adalah suatu teknologi yang bekerja dengan mengakumulasi energi dari gelombang laut untuk menciptakan tekanan udara dari ruangan kedap air yang untuk membuat turbin berputar. Kolom osilasi dijadikan prinsip dasar yang bekerja pada teknologi OWC untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik (Priliawan 2017).

Pemanfaatan energi gelombang laut pada teknologi Oscillating Water Column (OWC) untuk pembangkit listrik tidak akan merusak ekosistem sekitar dan ramah lingkungan baik pada proses konstruksi dan pengoperasiannya. Teknologi OWC dapat dijadikan alternatif pada pemanfaatan energi terbarukan untuk mengatasi kebutuhan masyarakat akan energi listrik tanpa merusak keindahan alam sekitar. Dengan adanya teknologi Oscillating Water Column (OWC) diharapkan mampu mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil, mengingat sumber energi terbarukan seperti gelombang laut memiliki potensi energi yang tidak terbatas.

Pada Gambar 2.4 menunjukkan skema yang bekerja pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan teknologi Oscillating Water Column (OWC).



(a) (b)
 Gambar 2.4 (a) Oscillating Water Column (OWC) pada saat gelombang laut naik
 (b) Oscillating Water Column (OWC) pada saat gelombang laut turun (Saputra 2020).

Berdasarkan Gambar 2.4 menunjukkan bahwa pada saat gelombang laut bergerak masuk ke dalam chamber, sehingga tekanan udara di dalam chamber akan semakin naik seiring dengan besarnya gelombang laut yang masuk. Tekanan udara inilah yang berperan langsung untuk memutar turbin. sehingga dapat memutar turbin. Turbin terhubung dengan generator yang membuat ketika turbin berputar maka generator pun akan ikut berputar. Dan pada generator inilah energi gerak akan dikonversikan menjadi energi listrik. Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan pada PLTGL – OWC seiring dengan besarnya gelombang laut dan tekanan udara di dalam chamber. Pada saat gelombang laut sedang naik maka tekanan udara dalam chamber pun akan meninggi sehingga dapat membuat overpressure. Sedangkan pada saat gelombang laut sedang turun maka tekanan udara dalam chamber pun akan menurun sehingga dapat mengurangi resiko overpressure.

Sehingga cara kerja yang bekerja pada teknologi Oscillating Water Column (OWC) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada bangunan OWC terdapat kolom terbuka yang berfungsi untuk keluar

masuknya gelombang air laut, sehingga ketika gelombang air laut menabrak dinding bangunan OWC akan membuat masuknya sebagian air laut melalui kolom terbuka yang terletak di bagian bawah bangunan OWC.

2. Kemudian air laut masuk kedalam chamber OWC, setelah melalui proses tumbukan antara gelombang air laut dan dinding OWC. Di dalam chamber inilah terjadi peristiwa sedot dan dorong antara kolom udara dan air laut. Naik turunnya volume air laut pada chamber atau ruang isolasi ini akan mempengaruhi besar tekanan udara di dalamnya.
3. Fenomena masuknya gelombang air laut secara naik dan turun didalam chamber akan menyebabkan peristiwa sedot dorong antara kolom udara dan air laut yang akan menghasilkan tekanan udara. Dan tekanan udara di dalam chamber inilah yang akan bekerja menggerakkan turbin berputar. Rotor pada generator akan ikut berputar seiring dengan berputarnya turbin, sehingga pada generator inilah energi kinetik dikonversi menjadi energi listrik.

2.2.2 Perhitungan potensi energi pada PLTGL – OWC.

Untuk mengetahui periode gelombang laut dapat menggunakan rumus:

$$T = 3,55\sqrt{H} \dots\dots\dots(s)$$

Keterangan:

T = Periode (s)

H = Tinggi gelombang (m)

Sedangkan untuk menghitung panjang gelombang dapat menggunakan rumus:

$$\lambda = 5,12T^2 \dots\dots\dots(m)$$

Keterangan:

λ = Panjang gelombang (m)

T = Periode (s)

Dan untuk menghitung kecepatan gelombang dapat menggunakan rumus:

$$V = \frac{\lambda}{T} \dots\dots\dots(m/s)$$

Keterangan:

V = Kecepatan gelombang (m/s)

λ = Panjang gelombang (m)

T = Periode (s)

Naik turunnya gelombang air laut menghasilkan energi potensial dan energi kinetik. Untuk memperoleh energi potensial dapat menggunakan rumus:

$$P.E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots(\text{Joule})$$

Untuk energi kinetik lebih dari 1 periode, besarnya sebanding dengan energi potensial sehingga diperoleh rumus:

$$K.E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots(\text{Joule})$$

Keterangan:

P.E = Energi Potensial (Joule)

K.E = Energi Kinetik (Joule)

w = Lebar gelombang (m)

ρ = Massa jenis air laut ($1030 \text{ Kg}/\text{m}^3$)

g = Gravitasi bumi ($9,81 \text{ m}/\text{s}$)

a = Amplitudo gelombang ($a = H/2$)

H = Tinggi gelombang (m)

Setelah mengetahui energi potensial dan energi kinetik, maka untuk energi total dapat dihitung dengan rumu:

$$Ew = P.E + K.E = \frac{1}{2} w \rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots (\text{Joule})$$

Sehingga untuk menghitung daya yang dapat dibangkitkan dari gelombang laut dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$Pw = \frac{Ew}{T} \dots\dots\dots (\text{W})$$

Dan untuk energi density dan power density dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Ewd = \frac{Ew}{\lambda w} = \frac{1}{2} \rho g a^2 \dots\dots\dots(\text{J}/\text{m}^3)$$

$$Pwd = \frac{Pw}{\lambda w} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \dots\dots\dots (\text{W}/\text{m}^3)$$

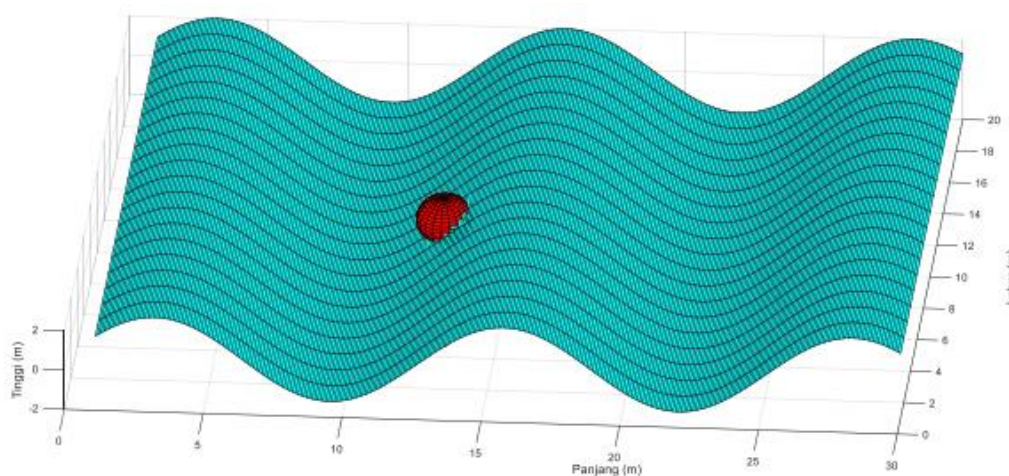
Dari berbagai persamaan dan rumus – rumus diatas, dapat ditarik kesimpulan

bahwa gelombang laut memiliki pengaruh secara langsung terhadap potensi besaran energi listrik yang dapat dibangkitkan dari PLTGL – OWC. Sehingga besar dan kecilnya daya listrik yang dapat dihasilkan pun tergantung dari besar dan tingginya gelombang serta periode waktu berlangsungnya gelombang tersebut.

2.3 Gelombang Laut pada PLTGL – OWC.

2.3.1 Peran Gelombang Laut pada PLTGL – OWC.

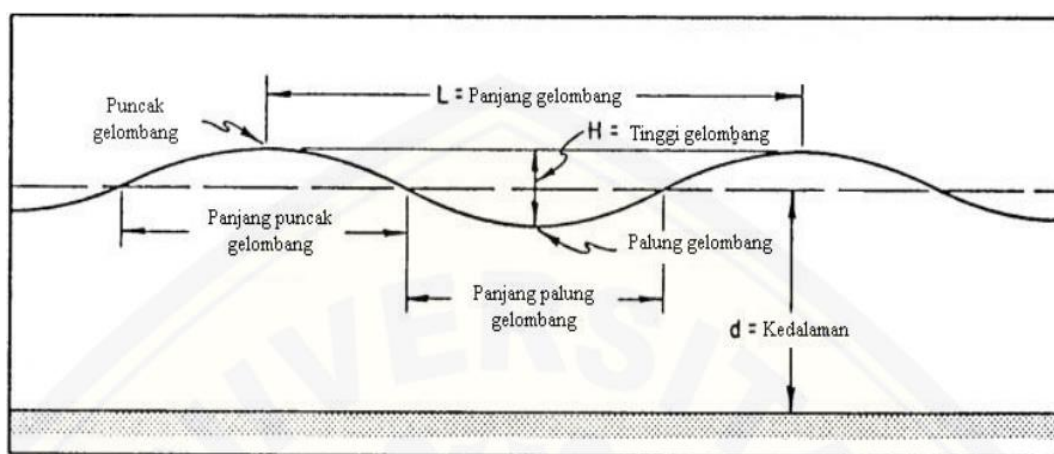
Gelombang laut adalah suatu bentuk gambaran dari permukaan laut baik berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang yang didasari oleh gerak ayun (oscillatory movement) akibat hembusan angin, erupsi gunung berapi, longsor di dasar laut, maupun kapal yang melintas. Dimensi yang terdapat pada gelombang laut yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang. Waktu yang ditempuh antara dua puncak atau dua lembah gelombang pada titik yang sama dan terjadi secara berurutan disebut periode gelombang dengan satuannya detik. Jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah gelombang yang terjadi secara berurutan disebut panjang gelombang dengan satuannya meter. Jarak vertikal antara lembah gelombang dan puncak gelombang disebut tinggi gelombang dengan satuannya meter.



Gambar 2.5 Simulasi Gelombang 3D (Parjiman et al. 2015).

Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut. Gelombang laut akan

terbentuk ketika ada dua massa benda yang memiliki kerapatan yang berbeda (densitasnya) bergesekan satu sama lain, sehingga akan terbentuk gelombang sebagai perwujudan dari dua massa benda yang bergesekan pada air sebagai bidang geraknya. Pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak dan merubah menjadi gelombang laut (Waldopo, dalam Priliawan 2017).



Gambar 2.6 Gambar Bagian dari Gelombang Laut (Shore Protection Manual, dalam Priliawan 2017).

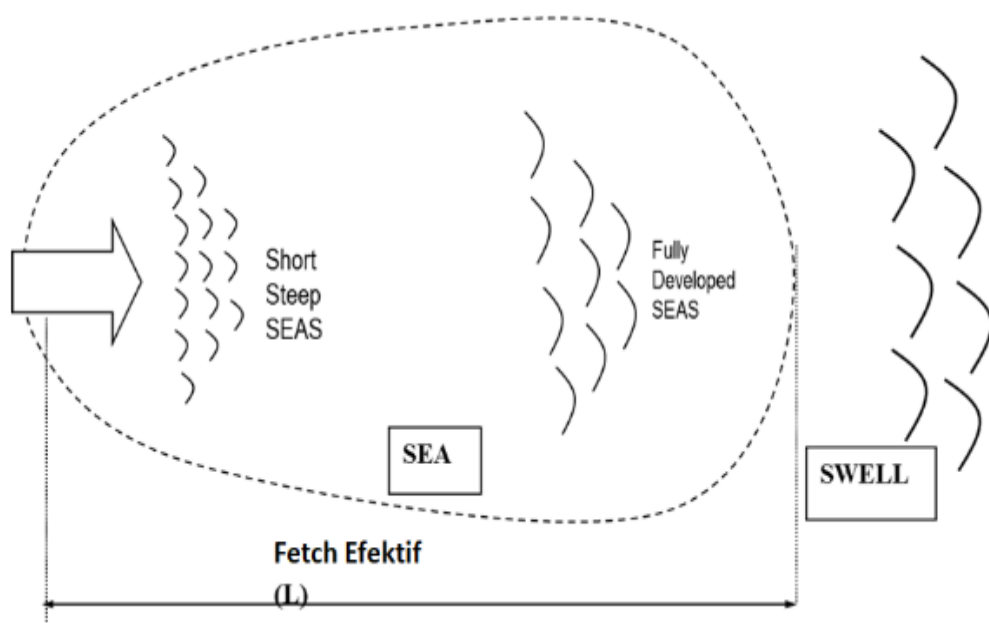
Peran gelombang laut pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) disini adalah sebagai sumber energi utama yang nantinya dikonversikan menjadi energi listrik melalui teknologi Oscillating Water Column (OWC).

2.3.2 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Gelombang Laut (Ombak).

1. Angin

Hembusan angin merupakan salah satu penyebab utama terbentuknya gelombang di laut. Berhembusnya angin di atas permukaan air laut akan menyebabkan perpindahan dari energi angin ke air laut. Tegangan pada permukaan laut dapat disebabkan oleh kecepatan angin, sehingga riak gelombang akan timbul dari permukaan air yang pada awalnya tenang. Bentuk riak pada air laut akan semakin besar seiring dengan bertambahnya

kecepatan angin dan gelombang akan muncul apabila angin berhembus secara terus menerus. Angin merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi proses terjadinya ombak, angin akan mempengaruhi variasi pada tinggi dan periode berlangsungnya ombak. Ombak teratur (swell) tergantung pada: kecepatan angin, durasi angin berhembus (duration) dan panjang daerah persentuhan antara angin dengan permukaan air laut (panjang fetch).



Gambar 2.7 Skema terbentuknya gelombang oleh angin (Purwono 2020).

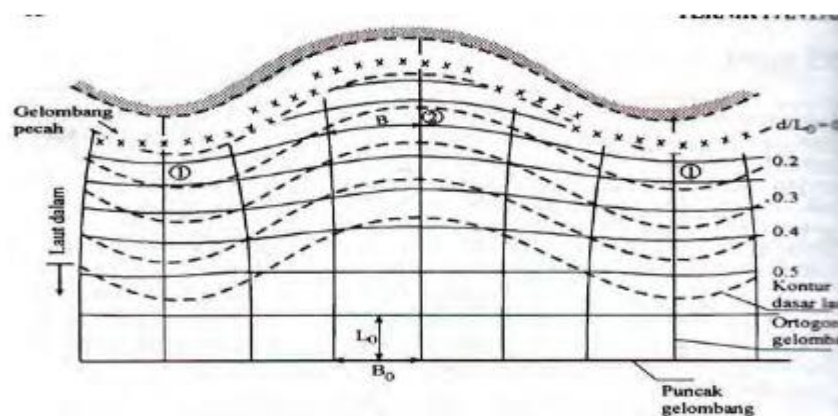
Faktor – faktor seperti kecepatan angin, durasi angin berhembus (duration) dan panjang daerah persentuhan antara angin dengan permukaan air laut (panjang fetch) diatas sangat menentukan tinggi dan periode dari ombak teratur. Ketinggian ombak akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin yang berhembus, bahkan angin dengan kecepatan konstan pun dapat membuat ombak meninggi secara perlahan. Kemudian perjalanan ombak teratur dimulai dari jarak ratusan meter, karena daerah bangkitnya (awal mula) ombak yang berada jauh dari pantai. Dalam proses berlangsungnya ombak ketinggian ombak akan berkurang namun periode ombak meningkat.

2. Batimetri

Batimetri diambil dari bahasa Yunani dari kata “bati” yang mempunyai arti kedalaman dan “metri” yang mempunyai arti ukuran, sehingga batimetri merupakan suatu ilmu pengetahuan yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi lantai samudra. Contoh ilmu batimetri seperti apa yang di alami ombak saat mendekati pantai, perubahan tinggi pada ombak teratur (swell), panjang dan kecepatan gelombang berdasarkan dengan keadaan dasar laut dan rintangan – rintangan yang ada di alam, seperti gunung, pulau, karang dan lain – lain.

3. Refraksi

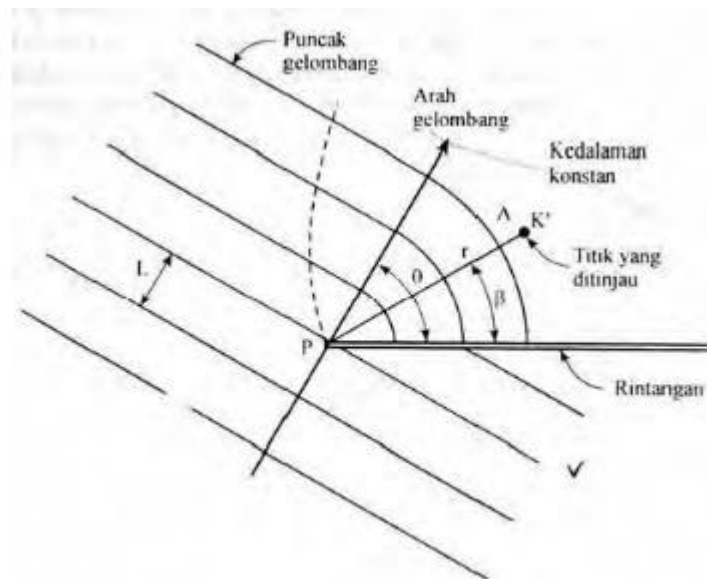
Refraksi merupakan salah satu peristiwa deformasi yang dialami ombak yang disebabkan pengaruh perubahan kedalaman pada laut. Proses berjalannya ombak tidak akan terpengaruh pada daerah laut yang memiliki kedalaman dasar laut dalam, sedangkan di daerah yang memiliki kedalaman dasar laut dangkal dan transisi, maka proses berjalannya ombak akan terpengaruh oleh dasar laut. Pada daerah laut yang memiliki kedalaman dangkal dan transisi, jika melihat pada garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang pada daerah air laut yang dangkal akan merambat dengan kecepatan yang cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan bagian air yang lebih dalam. Fenomena tersebut akan membuat beloknya garis puncak gelombang agar lebih sejajar dengan garis kontur pada dasar laut. Fenomena seperti ini dapat terjadi sama halnya bagaikan cahaya yang masuk ke dua medium yang berbeda.



Gambar 2.8 Refraksi Gelombang Laut (Aziz 2015).

4. Difraksi

Peristiwa dimana ketika suatu rintangan menghalangi gelombang yang datang, akan membuat gelombang berbelok disekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah belakang rintangan yang terlindungi, fenomena seperti ini disebut difraksi gelombang. Pada proses terjadinya difraksi gelombang ada transfer energi dengan arah tegak lurus dan menjalarnya gelombang bergerak ke daerah yang terlindung, gelombang yang berada di belakang rintangan akan tenang jika tidak terjadi difraksi gelombang. Namun pada saat difraksi gelombang terjadi maka daerah yang terlindungi rintangan akan terpengaruh oleh gelombang yang datang. Transfer energi ke daerah yang terlindungi rintangan akan menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut.

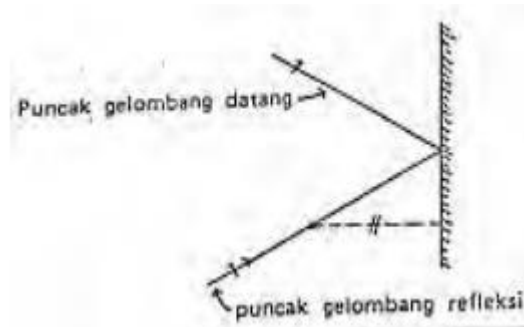


Gambar 2.9 Difraksi Gelombang (Aziz 2015).

5. Refleksi

Peristiwa ketika terjadinya benturan antara ombak dan rintangan vertikal, seperti dinding pantai, maka energi pada ombak tersebut akan terurai menjadi tiga unsur, yaitu: diteruskan, direfleksikan dan hilang. Dan energi yang dipantulkan atau direfleksikan inilah yang disebut dengan

refleksi. Refleksi merupakan peristiwa memantulnya energi gelombang akibat membentur suatu rintangan. Peristiwa seperti ini lama kelamaan akan membuat rintangan vertikal terkikis atau keropos jika pada dinding pantai. Ketinggian ombak sesudah refleksi akan berkurang jika dibandingkan pada saat sebelum membentur rintangan atau sebelum terjadinya refleksi.



Gambar 2.10 Refleksi Gelombang pada dinding vertikal (Aziz 2015).

2.3.3 Hubungan Antara Gelombang Laut (Ombak) dan Tekanan Udara Pada Chamber OWC (Oscillating Water Column).

Gelombang laut mempengaruhi besaran tekanan udara pada chamber secara langsung. Artinya semakin besar gelombang laut yang datang maka akan semakin besar pula nilai tekanan udara pada chamber dan juga sebaliknya, yaitu semakin kecil gelombang laut yang datang maka akan semakin kecil pula nilai tekanan udara pada chamber. Dapat dilihat pada Gambar 2.11 terkait skema OWC (Oscillating Water Column) pada sebuah PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut).



Gambar 2.11 Skema Oscillating Water Column Pada PLTGL-OWC (Shintawati 2019).

2.4 Pengaruh Tekanan di Chamber pada PLTGL – OWC

Tekanan udara memiliki peran penting dalam proses berlansungnya sistem kerja PLTGL – OWC. Tekanan di dalam chamber berperan sebagai penggerak turbin yang kemudian akan dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Besarnya tekanan pada chamber ditentukan oleh volume air yang masuk ke dalam chamber, semakin besar volume air yang masuk maka akan semakin besar pula tekanan di dalam chamber dan tekanan akan menurun seiring dengan menurunnya volume air yang masuk pada chamber.

Tekanan pada chamber atau kolom osilasi dapat diketahui menggunakan rumus:

$$P_2 = P_0 + \rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right) + \rho \frac{Q_2}{A_2} (V_2 - V_1) \dots \dots \dots (\text{Pa})$$

Sedangkan untuk mencari nilai debit udara dapat digunakan rumus:

$$Q_1 = V_1 \cdot A_1 \dots \dots \dots (\text{m}^3/\text{s})$$

$$Q_2 = V_2 \cdot A_2 \dots \dots \dots (\text{m}^3/\text{s})$$

Dan untuk mengetahui kecepatan udara pada chamber dapat menggunakan rumus:

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 \dots \dots \dots (\text{m}/\text{s})$$

Keterangan:

P_2 = Tekanan udara pada orifice (Pa)

P_0 = Tekanan udara diluar sistem (Pa)

ρ = Massa jenis air laut (**1030 Kg/m³**)

A_1 = Area kolom OWC (m²)

A_2 = Area kolom orifice (m²)

Q_1 = Debit air pada kolom OWC (**m³/s**)

Q_2 = Debit udara pada orifice (**m³/s**)

V_1 = Kecepatan aliran udara pada sekitar kolom OWC (**m/s**)

$V_2 =$ Kecepatan aliran udara pada orifice ($\mathbf{m/s}$)

Dari persamaan tekanan udara pada chamber, dapat diketahui bahwa besarnya tekanan udara pada chamber dipengaruhi berbagai faktor seperti: luas area kolom, besar debit udara, dan kecepatan udara.

2.5 Metode Logika Fuzzy

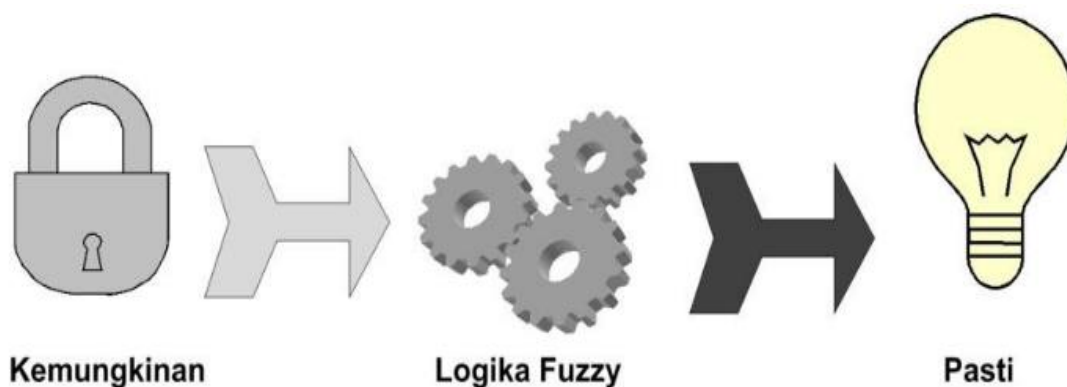
2.5.1 Konsep Dasar Metode Logika Fuzzy

Logika fuzzy dipopulerkan pertama kali oleh Lotfi Asker Zadeh melalui sebuah karya tulis tentang teori himpunan fuzzy pada tahun 1965. Beliau merupakan seorang ilmuwan Amerika Serikat dari Universitas California dengan berkebangsaan Iran. Meskipun pertama kali diperkenalkan di Amerika Serikat, pada penerapannya teori Logika Fuzzy ini lebih berkembang pesat dan diterima di Jepang. Hal ini dikarenakan budaya bangsa asia yang lebih mentolelir ke nilai – nilai yang samar atau abu – abu, sedangkan budaya bangsa eropa yang hanya menerima ya dan tidak atau hitam dan putih.

Fuzzy logic atau logika yang samar dan dapat diartikan pula sebagai suatu cara memetakan suatu ruang input dan ruang output yang dimiliki nilai selanjutnya. Sistem logika Fuzzy mempunyai sifat yang mampu mengakomodasi ketidakpastian dalam proses akumulasi suatu data. Fuzzy logic didefinisikan sebagai suatu jenis logika yang bernilai ganda dan berhubungan dengan ketidakpastian dan kebenaran parsial (Sitohang and Denson Napitupulu 2017).

Teori himpunan fuzzy digunakan sebagai kerangka matematis untuk menangani masalah ketidakpastian, ketidakjelasan ataupun dapat digunakan untuk kekurangan informasi. Dalam kehidupan sehari-hari kekurangan informasi banyak ditemukan diberbagai bidang kehidupan. Ketidakjelasan juga dapat digunakan untuk mendeskripsikan yang berhubungan dengan ketidakpastian yang diberikan dalam bentuk linguistik atau bahasa. Sistem logika fuzzy digunakan dalam sebuah sistem yang dibangun dengan cara definisi dan cara kerja fuzzy yang benar, walaupun sebuah fenomena yang akan dimodelkan dalam sistem fuzzy adalah bersifat samar-samar (Setiawan, Yanto, and Yasdomi 2018).

Dalam logika klasik dinyatakan bahwa segala sesuatu bersifat biner, yang artinya adalah hanya mempunyai dua kemungkinan, “Ya atau Tidak”, “Benar atau Salah”, “Baik atau Buruk” dan lain-lain. Oleh karena itu, sistem ini dapat mempunyai nilai-nilai keanggotaan 0 atau 1. Akan tetapi, dalam logika fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan berada di antara 0 dan 1. Artinya, bisa saja suatu keadaan mempunyai dua nilai “Ya dan Tidak”, “Benar dan Salah”, “Baik dan Buruk” secara bersamaan, namun besar nilainya tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Bila dibandingkan dengan logika konvensional, kelebihan logika fuzzy adalah kemampuannya dalam proses penalaran secara bahasa sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik yang rumit (Nasir and Suprianto 2017).



Gambar 2.12 Logika fuzzy untuk menyelesaikan masalah (Setiawan, Yanto, and Yasdomi 2018).

Dalam gambar 2.12 terlihat bahwa masukkan yang diterima adalah tidak pasti atau kemungkinan. Setelah diolah dengan logika fuzzy maka dihasilkan suatu jawaban yang pasti atau mendekati kebenaran. Memang banyak alternatif untuk menjawab kemungkinan yang terjadi, seperti sistem linier, linier berganda, sistem pakar, jaringan saraf tiruan (JST), dan masih banyak lagi metode yang dapat digunakan. Dari sekian banyak metode yang dapat digunakan, logika fuzzy sering digunakan menjadi pilihan terbaik. Hal ini digunakan untuk mempermudah dalam mermbuat rancang bangun sistem agar lebih cepat dan efisien.

2.5.2 Metode Pendekatan Logika Fuzzy

1. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan suatu item x dari suatu himpunan A , dapat ditulis dengan $\mu_A(x)$. Dimana dapat memiliki dua kemungkinan, yaitu:

- Satu (1): suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
- Nol (0): suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Contoh:

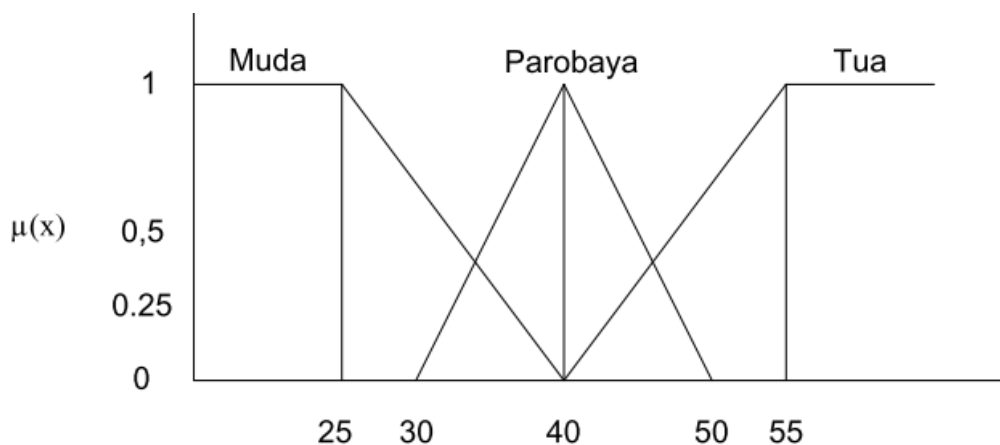
Terdapat 3 variabel umur, yaitu Muda, Parobaya, dan Tua:

Muda : umur < 30 tahun

Parobaya : $30 \leq \text{umur} \leq 50$ tahun

Tua : umur > 50 tahun

dengan himpunan fuzzy adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13 Himpunan Fuzzy (Khairina 2019).

Dari gambar 2.13, dapat dilakukan analisis untuk mengetahui apakah seseorang yang berumur dari 1 tahun sampai 55 tahun keatas masuk ke dalam kategori himpunan Muda, Parobaya atau Tua. Adapun hasil analisisnya, yaitu sebagai berikut:

- Apabila seseorang berusia 25 tahun, maka ia dikatakan Muda ($\mu_{\text{Muda}}(25) = 1$).
- Apabila seseorang berusia 40 tahun, maka ia dikatakan Tidak Muda ($\mu_{\text{Muda}}(40) = 0$).
- Apabila seseorang berusia 30 tahun, maka ia dikatakan Tidak Parobaya

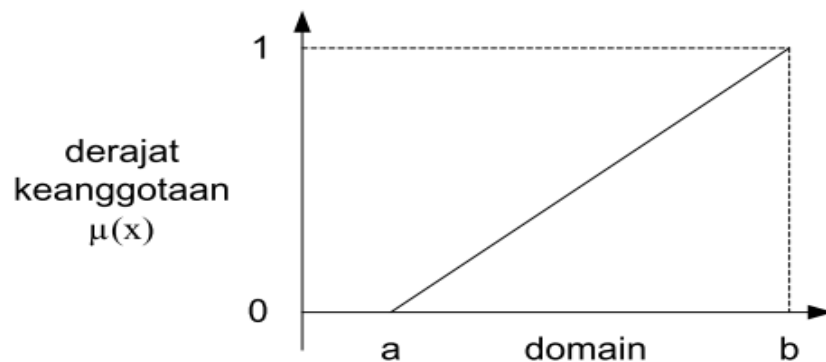
$(\mu_{\text{Parobaya}}(30) = 0)$.

4. Apabila seseorang berusia 40 tahun, maka ia dikatakan Parobaya ($\mu_{\text{Parobaya}}(40) = 1$).
5. Apabila seseorang berusia 50 tahun, maka ia dikatakan Tidak Parobaya ($\mu_{\text{Parobaya}}(50) = 0$).
6. Apabila seseorang berusia 40 tahun, maka ia dikatakan Tidak Tua ($\mu_{\text{Tua}}(40) = 0$).
7. Apabila seseorang berusia 55 tahun, maka ia dikatakan Tua ($\mu_{\text{Tua}}(55) = 1$).

2. Fungsi Keanggotaan.

Fungsi keanggotaan (membership function) merupakan kurva yang memetakan input ke derajat keanggotaan yang bernilai antara 0 dan 1. Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan yang akan digunakan pada penelitian ini, antara lain:

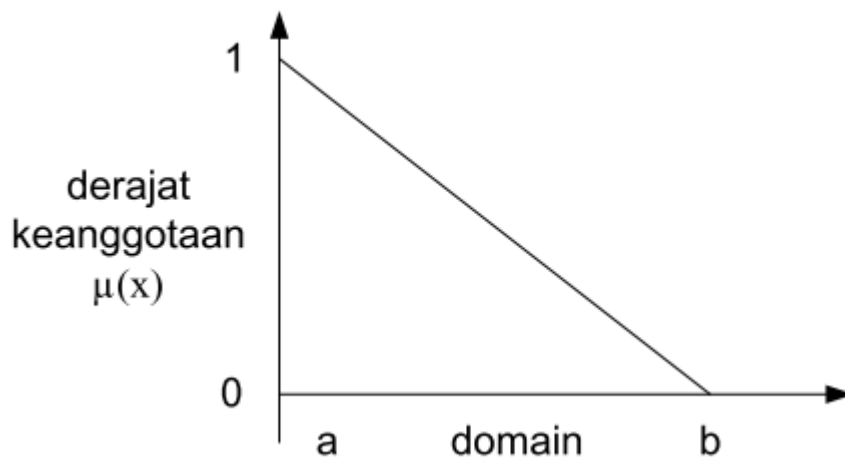
a. Representasi Kurva Linear Naik



Gambar 2.14 Kurva Linear Naik (Khairina 2019).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x - a) : (b - a) & a \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$$

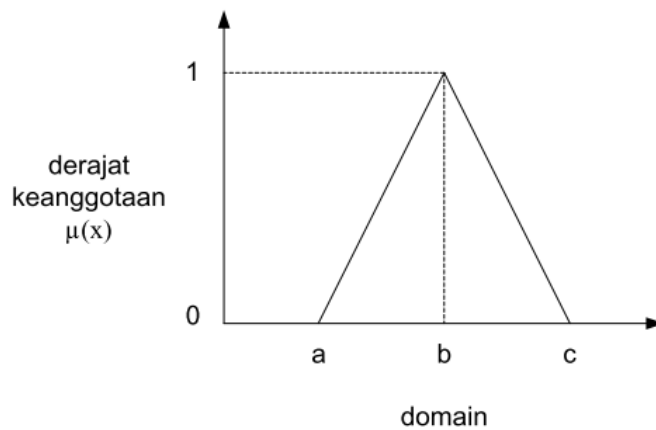
b. Representasi Kurva Linear Turun



Gambar 2.15 Kurva Linear Turun (Khairina 2019).

$$\mu(x) = \begin{cases} (b-x):(b-a) & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases}$$

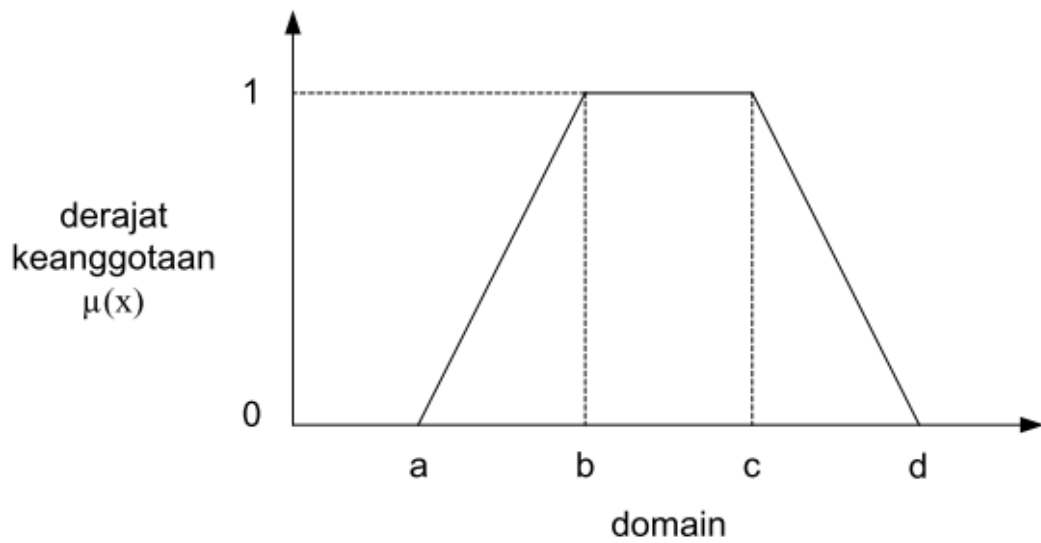
c. Representasi Kurva Segitiga



Gambar 2.16 Kurva Segitiga (Khairina 2019).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a):(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x):(c-b) & b \leq x \leq c \end{cases}$$

d. Representasi Kurva Trapezium



Gambar 2.17 Kurva Trapesium (Khairina 2019).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a):(b-a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d-x):(d-c) & c \leq x \leq d \end{cases}$$

3. Derajat Fungsi Keanggotaan.

Untuk menentukan berapa besar derajat keanggotaan dari tiap – tiap himpunan fuzzy dapat diketahui dengan cara dihitung, untuk proses perhitungannya bisa dilihat sebagai berikut:

Contoh:

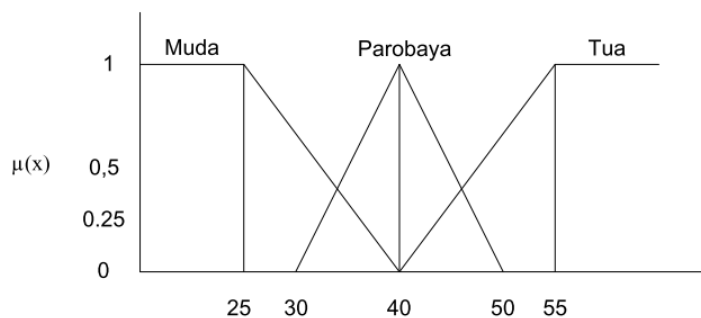
Terdapat 3 variabel umur, yaitu Muda, Parobaya, dan Tua :

Muda : umur < 30 tahun

Parobaya : $30 \leq \text{umur} \leq 50$ tahun

Tua : umur > 50 tahun

dengan himpunan *fuzzy* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.18 Himpunan Fuzzy Umur (Khairina 2019).

Apakah umur 35 dan 45 tahun termasuk dalam kategori Muda, Parobaya atau Tua?

a. Umur 35 tahun

$$\mu_{\text{Muda}}(35) = (d - x) / (d - c) = (40 - 35) / (40 - 25) = 5/15 = 0,33$$

$$\mu_{\text{Parobaya}}(35) = (x - a) / (b - a) = (35 - 30) / (40 - 30) = 5/10 = 0,5$$

Maka umur 35 tahun dapat dikategorikan Parobaya, karena $\mu_{\text{Parobaya}}(35) = 0,5 > \mu_{\text{Muda}}(35) = 0,33$.

b. Umur 45 tahun

$$\mu_{\text{Parobaya}}(45) = (c - x) / (c - b) = (50 - 45) / (50 - 40) = 5/10 = 0,5$$

$$\mu_{\text{Tua}}(45) = (x - a) / (b - a) = (45 - 40) / (55 - 40) = 5/15 = 0,33$$

Maka umur 45 tahun dapat dikategorikan Parobaya, karena $\mu_{\text{Parobaya}}(45) = 0,5 > \mu_{\text{Tua}}(45) = 0,33$.

2.5.3 Kelebihan dan kekurangan dari Metode Logika Fuzzy

Menurut Kusumadewi dalam (Setiawan, Yanto, and Yasdomi 2018) logika fuzzy memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika fuzzy sangat fleksibel.
3. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang sangat tepat.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik – teknik kendali secara konvensional.
7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

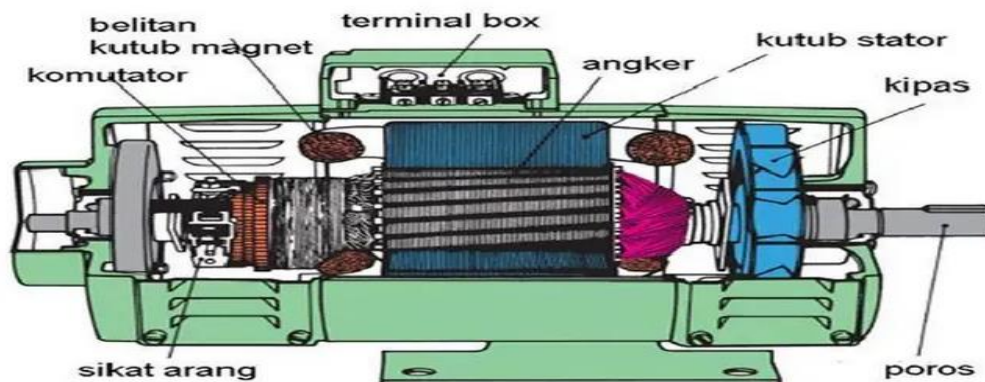
Sedangkan beberapa kekurangan pada logika fuzzy, yaitu:

1. Terganggunya keakuratan pada sistem yang disebabkan karena mayoritas input dan data yang bekerja juga memiliki nilai yang tidak akurat.
2. Dihilangkannya metode pendekatan tunggal sistematis untuk menyelesaikan masalah menggunakan logika fuzzy, sehingga terciptanya banyak solusi untuk suatu masalah tertentu yang dapat menimbulkan kebingungan.
3. Algoritma yang diterapkan pada logika fuzzy sepenuhnya bergantung pada ilmu pengetahuan dan keahlian yang dimiliki manusia.
4. Rules atau aturan – aturan pada sistem control logika fuzzy harus diperbarui seiring dengan berkembangnya zaman.
5. Algoritma pada logika fuzzy tidak dapat mengetahui pembelajaran mesin dan jaringan syaraf.
6. Diperlukan serangkaian banyak uji coba validasi dan verifikasi pada algoritma logika fuzzy sebelum diterapkan secara langsung.

2.6 Fenomena Overpressure Pada Chamber PLTGL – OWC

Overpressure atau tekanan berlebih dapat terjadi pada chamber PLTGL – OWC terjadi apabila terdapat gelombang laut yang sangat besar dengan periode waktu yang konstan datang lalu masuk menuju dinding chamber sehingga air laut pun masuk kedalam chamber dimana tekanan udara akan semakin membesar seiring dengan volume air laut yang masuk kedalam chamber.

Fenomena overpressure pada chamber PLTGL – OWC dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada sebuah generator. Kerusakan yang terjadi pada generator adalah Over voltage atau tegangan berlebih. Over voltage adalah tegangan yang berlebih melampaui batas maksimum yang diizinkan sehingga mengakibatkan tembusnya (breakdown) desain isolasi yang pada akhirnya menimbulkan hubungan singkat antar belitan. Hal ini disebabkan karena turbin yang berputar secara berlebih atau overspeed. Dan turbin yang berputar secara overspeed terjadi karena pengaruh langsung overpressure pada chamber PLTGL – OWC tersebut. Pada penelitian ini menggunakan generator DC seperti pada Gambar 2.19 sebagai berikut.



Gambar 2.19 Konstruksi Generator DC (Bayu 2017).

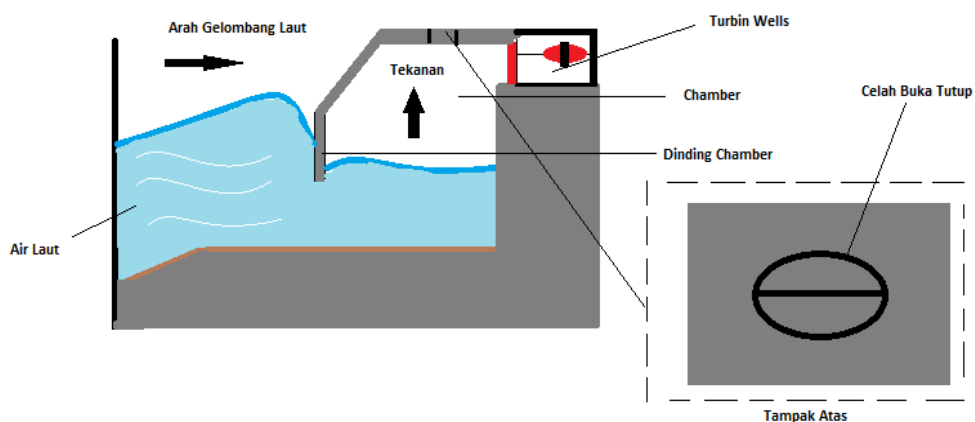
Sedangkan untuk hubungan over speed dan over voltage dapat diketahui dari rumus tegangan berikut:

$$V_g = \frac{N}{a} p \cdot \phi \frac{n}{60}$$

Keterangan: N = jumlah armatur konduktor; a = jalur paralel antar sikat; p = kutub; ϕ = fluks magnet; n = rotasi.

Hubungan tegangan dengan rotasi adalah berbanding lurus. Artinya semakin besar rotasi maka akan semakin besar pula tegangan yang dihasilkan dan sebaliknya.

2.7 Skema Sistem Buka Tutup Celah Pada PLTGL – OWC



Gambar 2.20 Sistem Buka Tutup Pada PLTGL – OWC.

Pada Gambar 2.20 dapat dilihat skema sistem buka tutup celah yang bekerja pada PLTGL – OWC adalah ketika gelombang laut datang menabrak dinding chamber sebagian air laut akan masuk kedalam chamber dan didalam chamber inilah air laut dan udara akan saling sedot dan dorong. Peristiwa sedot dan dorong inilah yang akan menentukan besarnya tekanan di dalam chamber.

Kemudian pada saat tekanan yang bekerja dalam chamber melampaui batas ketahanan dinding terhadap tekanan (overpressure), maka akan terbukalah celah yang dibuat pada dinding bagian atas. Tujuan terbuka atau tertutupnya celah adalah untuk mengurangi resiko terjadinya fenomena overpressure atau tekanan berlebih yang terjadi didalam chamber.