

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini menjelaskan beberapa landasan teori yang digunakan dalam penelitian meliputi definisi daya listrik, faktor daya, kualitas daya listrik, segitiga daya, metode penyelesaian aliran daya, dan algoritma *Whale Optimization Alghorythm* (WOA) sebagai metode penentuan nilai dan penempatan kapasitor pada sistem.

### 2.1 Daya Listrik

Secara umum daya didefinisikan sebagai besarnya energi yang dibutuhkan untuk melakukan suatu usaha. Pada hakekatnya energi listrik dapat juga diartikan sebagai sejumlah energi yang berubah dalam bentuk arus dan tegangan terhadap waktu (Sulistyowat & Febriantoro, 2012). Satuan yang digunakan untuk mendefinisikan daya listrik adalah watt. Besarnya daya yang hilang atau diserap sesuai dengan besarnya beban yang terhubung. Secara umum klasifikasi daya listrik terbagi atas 3 yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

#### 2.1.1 Daya Aktif

Satuan daya aktif adalah watt (W), daya ini diartikan sebagai nilai daya *real* yang dikonsumsi dan dibutuhkan oleh beban. Pada daya aktif, energi yang mengalir akan dikonversikan oleh beban menjadi bentuk energi lainnya, dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

Untuk daya aktif tegangan 1 fasa

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi \quad (2.1)$$

Untuk daya aktif tegangan 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi \quad (2.2)$$

Kondisi gelombang arus dan tegangan pada daya aktif berada pada fase yang sama ( $0^\circ$ ). (Putra et al., 2020)

## 2.1.2 Daya Reaktif [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

Berbeda dengan daya aktif, daya reaktif merupakan daya yang diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada kumparan-kumparan beban induktif. Salah satu contoh tempat timbulnya daya reaktif ini adalah trafo. Pada trafo, daya reaktif berfungsi untuk membangkitkan medan magnet pada kumparan primer, sehingga medan magnet primer tersebut menginduksi kumparan sekunder. Satuan daya reaktif adalah *volt ampere reaktif* (VAr) (Putra et al., 2020). dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

Untuk daya reaktif tegangan 1 fasa

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

Untuk daya reaktif tegangan 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \varphi \quad (2.4)$$

Nilai faktor daya pada jenis daya ini sangat rendah dikarenakan adanya medan magnet yang timbul pada motor yang dikembangkan dari sudut fase antara gelombang dan arus (Saadat, 1999).

## 2.1.3 Daya Semu

Daya semu didefinisikan sebagai daya hasil pembangkitan dari generator sebagai pembangkit listrik dengan satuan *volt ampere* (VA). Daya ini juga disebut sebagai daya total (S) sebagai hasil perkalian arus efektif dengan tegangan efektif. Dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

Untuk daya semu tegangan 1 fasa

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (2.5)$$

Untuk daya semu tegangan 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (2.6)$$

Daya semu melingkupi daya aktif dan daya reaktif (Putra et al., 2020).

## 2.2 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik merupakan permasalahan yang meliputi penggunaan daya listrik yang mengalami perubahan pada arus, tegangan dan frekuensi yang tidak seharusnya terjadi. Perubahan yang menyimpang ini menyebabkan

www.itk.ac.id

timbulnya kegagalan operasi pada peralatan listrik konsumen (Dugan et al., 2004). Kualitas daya listrik menjadi salah satu hal terpenting yang perlu diperhatikan karena akibatnya pada kondisi-kondisi tertentu seperti naik turunnya tegangan atau daya yang dikonsumsi beban tidak sesuai dengan seharusnya dimana keadaan ini merupakan keadaan yang cukup fatal bagi peralatan listrik yang cukup sensitif maupun sistem kelistrikan itu sendiri yang menyebabkan kegagalan operasi. Banyak faktor yang menyebabkan kualitas daya listrik menjadi buruk salah satunya adalah beban non linier. Beban yang dimaksud adalah beban yang bentuk gelombang hasil keluarannya tidak sama pada setiap setengah siklus hingga timbul distorsi (Rizal, 2015).

Permasalahan kualitas daya listrik pun cukup beragam. Keberagaman ini juga disebabkan oleh fenomena elektromagnetik pada sistem kelistrikan, permasalahan yang timbul antara lain (Dugan et al., 2004) :

1. Gejala Peralihan (*Transient*)
2. Perubahan tegangan pada durasi singkat
3. Perubahan tegangan pada durasi panjang
4. Ketidakstabilan tegangan
5. Distorsi
6. Tegangan fluktuatif
7. Frekuensi yang berubah

### 2.3 Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio hasil pembagian antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Nilai faktor daya dinotasikan sebagai ( $\cos \varphi$ ) dengan persamaan sebagai berikut (Akto, 2014) :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.7)$$

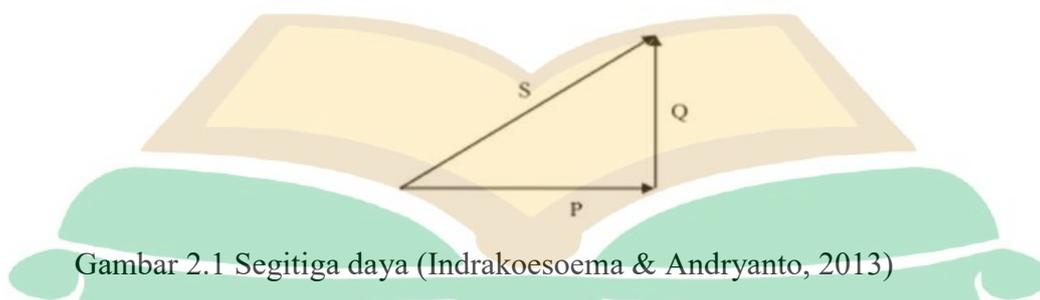
Dimana semakin besar nilai faktor daya berarti semakin besar daya aktif yang tersalurkan menuju beban. Hal ini membuat kondisi jaringan distribusi menjadi baik namun sebaliknya semakin besar daya semu maka nilai faktor daya akan semakin kecil dan menyebabkan kondisi jaringan menjadi buruk. Hal utama yang

terjadi akibat nilai faktor daya yang buruk adalah terjadinya drop tegangan. Dalam pembagiannya terdapat tiga jenis faktor daya yakni (Dugan et al., 2004) :

1. Faktor daya tertinggal atau *lagging*, yakni kondisi dimana tegangan yang digunakan sebagai referensi mengalami kondisi tertinggal oleh arus yang menyebabkan konsumsi daya reaktif oleh beban meningkat.
2. Faktor daya mendahului atau *leading*, yakni kondisi dimana tegangan sebagai yang digunakan sebagai referensi mengalami kondisi terdahului oleh arus sehingga menyebabkan sistem mengalami penambahan daya reaktif oleh beban.
3. Faktor daya *unity*, yakni kondisi yang terjadi saat arus dan tegangan berada pada kondisi se-fasa sehingga terjadi keseimbangan dan membuat nilai faktor daya maksimal sebesar 1.

## 2.4 Segitiga Daya

Segitiga daya didefinisikan sebagai hubungan matematis antara tiga jenis daya yakni daya aktif, reaktif, dan semu. Hubungan ini digambarkan dalam bentuk segitiga siku-siku. Perbandingan antara daya semu dan daya aktif membentuk sudut berupa  $(\cos \phi)$  atau faktor daya. Sudut tersebut merupakan sudut pergerakan fasa dimana nilainya akan semakin kecil jika daya semu dan daya reaktif bernilai besar. Peningkatan nilai daya reaktif (Q) maka akan memperbesar sudut antara daya aktif (P) dan daya semu (S) (Indrakoesoema & Andryanto, 2013).

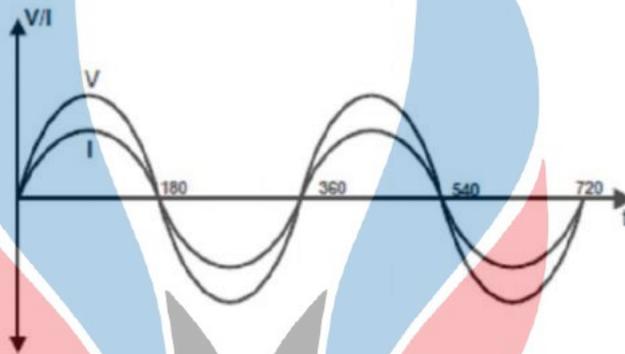


Gambar 2.1 Segitiga daya (Indrakoesoema & Andryanto, 2013)

Pada sumber listrik arus bolak-balik beban yang dialiri listrik terbagi menjadi tiga jenis beban, yang dijelaskan sebagai berikut.

### 2.4.1 Beban Resistif

Beban resistif dapat didefinisikan sebagai beban yang nilai pembebanannya bersifat resistor murni. Pada pengaplikasiannya beban ini tidak akan mengkonsumsi daya reaktif, hanya menyerap daya aktif secara keseluruhan (Hasibuan et al., 2020). Pada beban resistif gelombang tegangan dan arus akan menjadi seperti Gambar 2.2 sebagai berikut.

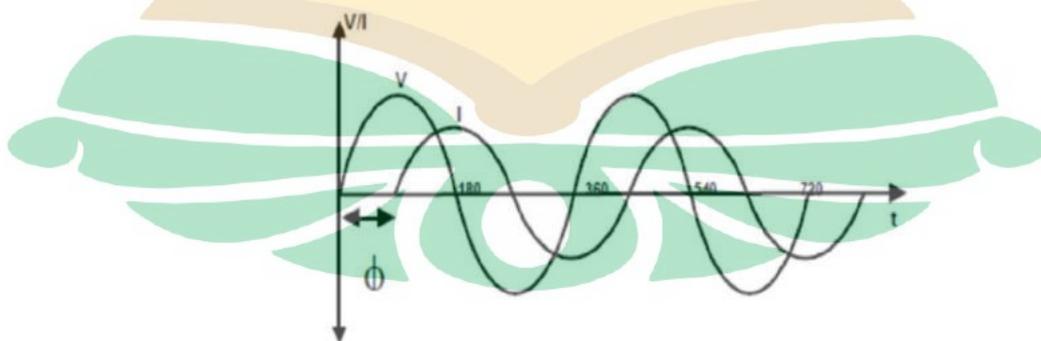


Gambar 2.2 Grafik beban resistif (Sebayang & Hasibuan, 2013)

Pada beban resistif tegangan dan arus akan berada pada posisi se-fasa seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 (Hasibuan et al., 2020).

### 2.4.2 Beban Induktif

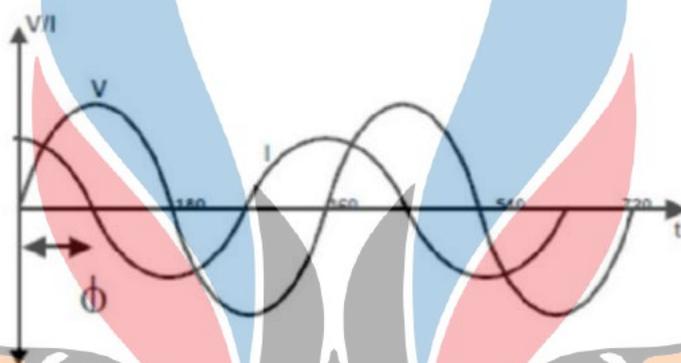
Beban induktif merupakan beban hasil dari penggunaan komponen induktor yang berupa lilitan kumparan kawat pada inti besi. Beban ini akan menyebabkan kondisi *lagging* pada sistem sehingga akan membuat daya reaktif yang dikonsumsi menjadi lebih besar (Hasibuan et al., 2020). Kondisi gelombang arus dan tegangan digambarkan pada Gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 Grafik beban induktif (Sebayang & Hasibuan, 2013)

### 2.4.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban hasil dari penggunaan komponen kapasitor didalamnya. Beban ini akan membuat kondisi faktor daya menjadi *leading* sehingga merupakan kebalikan dari beban induktif. Beban kapasitif ini sering digunakan sebagai cara untuk mengkompensasi besarnya konsumsi daya reaktif dari beban induktif (Hasibuan et al., 2020). Kondisi gelombang dan arus pada beban kapasitif digambarkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Grafik beban kapasitif (Sebayang & Hasibuan, 2013)

## 2.5 Metode Penyelesaian Aliran Daya

Suatu sistem tenaga listrik yang besar memiliki jumlah *bus* yang tak sedikit. Hal tersebut membuat jumlah tegangan yang diberikan oleh generator pada satu *bus* tak hanya akan diserap oleh beban pada *bus* tersebut melainkan pula beban *bus* lainnya. Keadaan ini berpengaruh pada kualitas daya pada sistem yang dituntut agar menjadi sistem yang handal dalam suplai energi listrik (Fikri & Anggani, 2018). Metode yang digunakan dalam penyelesaian aliran daya cukup beragam, salah satu metode yang sering digunakan adalah *backward-forward sweep* (Petridis et al., 2021).

### 2.5.1 *Backward-forward sweep*

Metode aliran daya *backward-forward sweep* merupakan metode aliran daya yang direpresentasikan sebagai percabangan sebuah pohon. *Slack bus* pada metode aliran daya ini merupakan bus pertama pada sistem, dimana percabangan

atau bus lainnya merupakan *load bus*. Studi aliran daya berdasarkan metode ini membuat perhitungan lebih ringkas pada setiap iterasinya. Pada metode ini langkah kerja pertama yang dilakukan adalah menghitung besar nilai arus pada bus pertama hingga bus terakhir. Selanjutnya nilai arus yang didapatkan akan dikalikan dengan nilai impedansi saluran untuk mendapatkan nilai penurunan tegangan (*drop voltage*) tiap salurannya (Novialifiah et al., 2014). Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai arus tiap cabang dirumuskan sebagai berikut:

$$I_i^k = \text{conj} \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right) \quad (2.8)$$

Dimana,

$I_i^k$  = arus bus i saat iterasi ke-k

$V_i^k$  = tegangan bus i saat iterasi ke-k

## 2.6 Loss Sensitivity Index

*Loss sensitivity index* (LSF) merupakan metode yang didasari pada studi aliran daya. Kalkulasi LSF berfungsi untuk membantu penentuan kandidat letak kapasitor optimal terhadap sistem. Koefisien yang digunakan pada LSF merupakan turunan perbandingan antara rugi daya aktif terhadap daya reaktif yang dirumuskan sebagai berikut. (Anggara et al., 2019)

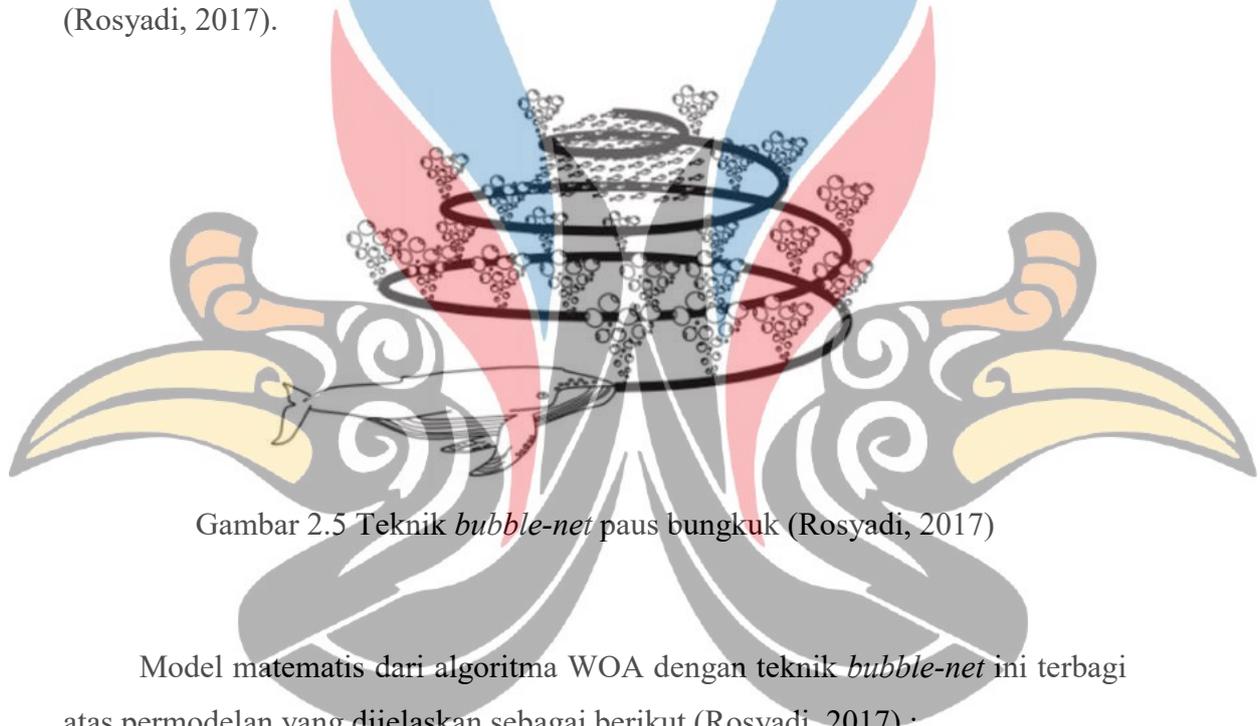
$$\frac{\partial P_{line\ loss}}{\partial Q_{eff}} = \frac{(2Q_{eff}^2 [q] R[k])}{V[q]^2} \quad (2.9)$$

Urutan hasil kandidat saluran penempatan kapasitor ditunjukkan oleh nilai antara 0 hingga 1.

## 2.7 Whale Optimization Alghorhythm

*Whale Optimization Alghorhythm* atau (WOA) merupakan bentuk algoritma optimasi yang terinspirasi oleh ikan paus dimana paus merupakan salah satu mamalia terbesar yang masih hidup didunia. Algoritma ini dikembangkan oleh Sayedali Mirjaili bersama Andrew Lewis. Sifat paus yang hidup secara

berkelompok dan mampu berkomunikasi satu dengan yang lainnya memungkinkan perburuan mangsa dapat berjalan dengan efektif, hal ini lah yang menjadi dasar dari permodelan algoritma. Teknik yang digunakan oleh salah satu jenis paus adalah *bubble-net* berupa gelembung-gelembung udara. Paus yang berburu menggunakan teknik ini adalah paus bungkuk dengan mangsa favoritnya adalah ikan-ikan kecil. Paus yang berburu secara berkelompok akan mengeluarkan gelembung udara dengan mengelilinya dari diameter yang besar hingga mengerucut menjadi diameter yang lebih kecil, kemudian salah satu paus akan memakan semua mangsa yang telah terjaring oleh gelembung udara (Rosyadi, 2017).



Gambar 2.5 Teknik *bubble-net* paus bungkuk (Rosyadi, 2017)

Model matematis dari algoritma WOA dengan teknik *bubble-net* ini terbagi atas permodelan yang dijelaskan sebagai berikut (Rosyadi, 2017) :

### 2.7.1 Mengelilingi Mangsa (*Encircling Prey*)

Tahap ini dimulai dengan paus bungkuk yang menandai lokasi mangsa dan dilanjutkan mengelilinya. Posisi optimal pada saat pencarian ini tidak diketahui sehingga algoritma WOA mendefinisikan solusi terbaik pada tahap ini adalah mangsa yang sedang dikelilingi sehingga diasumsikan posisi terkini mendekati posisi optimal (Rosyadi, 2017).

$$\vec{D} = |\vec{C} \times \vec{X}_p(t) - \vec{X}_t(t)| \quad (2.10)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.11)$$

Dimana,

$\vec{C}$  dan  $\vec{A}$  = Koefisien vector

$\vec{X}^*$  = Vektor posisi terkini dari solusi terbaik

$\vec{X}$  = Vektor posisi terbaik yang akan diperbarui

t = iterasi

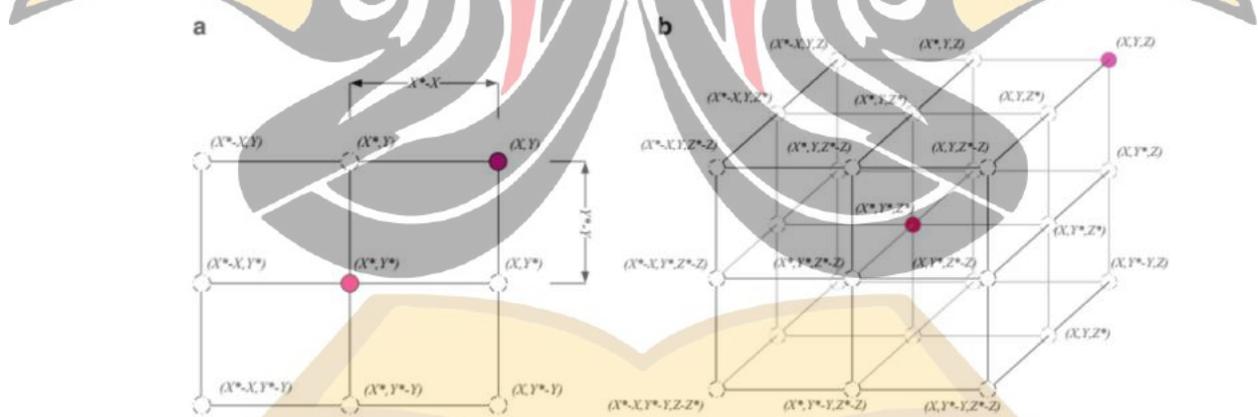
Untuk menentukan nilai koefisien vektor, dapat digunakan persamaan berikut.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (2.12)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (2.13)$$

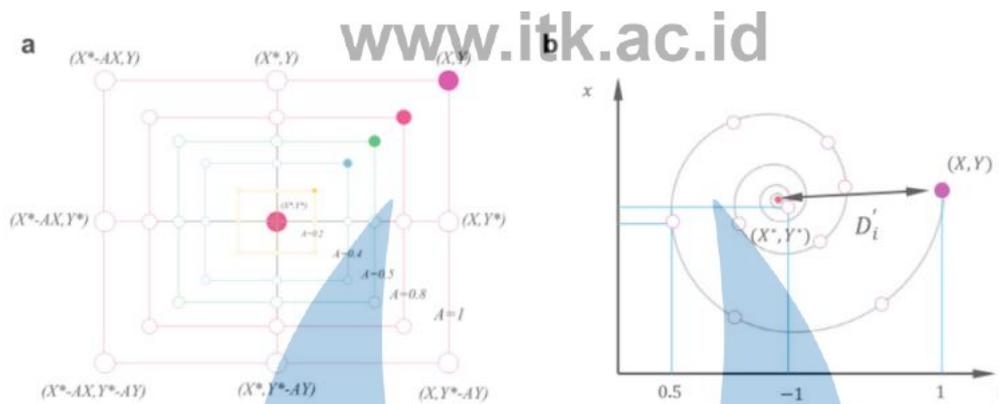
Dengan  $\vec{a}$  adalah pengurangan linear 2 ke 0 pada saat iterasi fase eksplorasi ataupun eksploitasi dan  $\vec{r}$  adalah vektor random dalam  $[0,1]$  (Rosyadi, 2017).

Penggambaran pergerakan *whale* secara dua dimensi diilustrasikan oleh gambar 2.7 (a). Pada gambar 2.7 (b) pergerakan *whale* dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi. Kedua penggambaran ini merupakan penggambaran kemungkinan pergerakan *whale* sesuai dengan persamaan 2.9 (Rosyadi, 2017).



Gambar 2.6 Vektor posisi pergerakan *whale* (Rosyadi, 2017)

Sedangkan untuk mencari ruang pencari yang dinotasikan sebagai  $n$  dimensi, digunakan penggambaran sesuai gambar 2.8. ikan pencari akan bergerak mengelilingi solusi terbaik yang didapat pada iterasi dalam lingkup *hyper-cubes* (Rosyadi, 2017).



Gambar 2.7 Mekanisme kerja bubble-net (Rosyadi, 2017)

## 2.7.2 Fase Eksploitasi (*Bubble-net Attack*)

Fase eksploitasi atau yang disebut *bubble-net attack* sendiri terbagi menjadi dua tahapan yakni:

### 2.7.2.1 Mekanisme *Shrinking Encircling*

Pada tahapan ini nilai  $\vec{a}$  pada persamaan 2.10 akan diturunkan, sehingga variasi yang didapat dari  $\vec{A}$  pun akan berkurang. *Update* posisi terbaru dari *search agent* akan didefinisikan diantara posisi awal *agent* dengan posisi dari *best agent*. Nilai acak akan ditetapkan pada vektor  $\vec{A}$  dalam  $[-1,1]$  (Rosyadi, 2017).

### 2.7.2.2 *Spiral Updating Position*

Pada tahapan ini akan dihitung rentang jarak antar paus di posisi  $(X,Y)$  dengan mangsa yang berada pada posisi  $(X^*,Y^*)$ . Posisi ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}^t \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^* \quad (2.14)$$

Dengan  $b$  adalah konstanta yang mendefinisikan bentuk spiral pada algoritma, dan  $l$  adalah bilangan random pada rentang  $[-1,1]$  (Rosyadi, 2017).

### 2.7.3 Pencarian Mangsa (*Search for Prey*)

Fase ini menunjukkan sifat paus yang mencari mangsanya secara random dengan tetap memperhatikan posisi satu dengan yang lainnya. Nilai random  $\vec{A}$  akan digunakan untuk membuat ikan pencari  $i$  bergerak menjauhi ikan acuan dimana nilai random vektor adalah lebih besar dari 1 atau kurang dari -1. Pencarian global pada fase eksplorasi ini dimodelkan oleh persamaan berikut (Rosyadi, 2017).

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad 2.15$$

$$\vec{D}(t + 1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad 2.16$$

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

**Tabel 2.1** Kumpulan Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul	Kesimpulan
1	Rosyadi, 2017	Optimasi Penempatan dan Kapasitas Filter Pasif pada Jaringan Distribusi Radial Menggunakan <i>Whale Optimization Alghorythm</i> (WOA)	Pada optimasi pemasangan filter <i>single-tuned</i> 5th WOA konvergen pada iterasi ke 43, sedangkan pada optimasi filter <i>single-tuned</i> 5th dan 7th yang dipasang paralel konvergen pada iterasi ke 324. Hal ini menunjukkan kecepatan optimasi WOA sangat tergantung oleh dimensi pencarian
2	Mufidah, 2019	Optimalisasi Penempatan <i>Capacitor Bank</i> Untuk Memperbaiki Kualitas Daya Listrik Pada Sistem Kelistrikan PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda	Peningkatan nilai faktor daya dengan melakukan pemasangan <i>capacitor bank</i> dengan metode <i>global compensation</i> dan metode <i>individual compensation</i> didapatkan hasil yang sama

yaitu 0,95. Sehingga, metode pemasangan yang tepat untuk Boster Damai adalah metode *global compensation*.

---

3	Herawati dkk, 2019	Optimasi Kapasitor Tegangan Regional Jawa Barat	Penempatan Pada Sistem Menengah	Persentasi penurunan rugi – rugi daya aktif setelah kompensasi kapasitor adalah sebesar 4.868%. Tegangan pada bus 11 berhasil diperbaiki sebesar 5.18% dari 0.945 pu menjadi 0.994 pu, bus 12 sebesar 6.23% dari 0.930 pu menjadi 0.988 pu.
---	--------------------	---	---------------------------------	---

---

