

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 PLTH

Pembangkit *hydro* merupakan pembangkit yang dewasa, mapan dan matang pada teknologi pembangkit listrik. Meskipun demikian, pengembangan pembangkit listrik air jika diletakkan pada skala yang lebih besar, akan menimbulkan masalah lingkungan dan permasalahan sosial. Termasuk genangan lahan, relokasi pemukiman dan ada kemungkinan terjadi bencana akibat bendungan yang bocor sehingga menimbulkan kericuhan warga sekitar. Tetapi dalam skala yang kecil, seperti di sungai-sungai, tidak menimbulkan permasalahan-permasalahan seperti yang disebutkan di atas. Selain tidak menimbulkan permasalahan-permasalahan tersebut, *small hydropower* (SHP) tetap mampu menyediakan akses listrik juga sebagai penyeimbang sumber daya yang terputus-putus serta sebagai sumber penyimpanan energi yang berpotensi.

Cara kerja SHP cukup sederhana dan memiliki dasar konsep yang sama dengan pembangkit-pembangkit yang lain. Energi yang diubah dari potensial dan kinetik yang berasal dari air yang mengalir menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Air yang mengalir diarahkan ke bendungan kecil, kemudian dialirkan serta disalurkan dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah untuk memutar turbin dan menghasilkan energi mekanik untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Sumber energi dari SHP cukup fleksibel untuk kelistrikan di pedesaan ataupun digunakan untuk pribadi.

SHP dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan kapasitas pembangkit listriknya yaitu mini, mikro dan *picohydro*. Berdasarkan organisasi dunia yang bergerak di bidang pengembangan *hydropower* UNINDO pada tahun 2019, merekomendasikan supaya proyek dikategorikan berdasarkan definisi lokal. Dalam konteks negara Indonesia, PLTH skala besar mengacu pada kapasitas pembangkit yang melebihi 10 MW dan sebuah bendungan. Sedangkan mini *hydropower* (MHP) biasanya mengacu pada kapasitas 1-10 MW. Sering kali produsen listrik independen menggunakan kapasitas 10 kW hingga di bawah 1 MW yang biasa ditujukan untuk keperluan listrik pedesaan di luar jaringan listrik. Kapasitas 10 kW-

1 MW disebut pembangkit *micro hydropower*. Sedangkan pembangkit pico mencakup proyek kecil yang memiliki kapasitas di bawah 10 kW.

SHP di Indonesia memiliki sejarah tersendiri. SHP menjadi sangat penting bagi pemerintahan sejak pertengahan tahun 1970 yang menciptakan minat tinggi pada skema pembangkit listrik tenaga air terutama pada kategori mikro. Alasan utama mengapa sangat penting karena rendahnya tingkat elektrifikasi, tingkat elektrifikasi perumahan yang sekitar 15% dari rumah tangga pada pertengahan 1970 dan 10% di daerah pedesaan. Pada tahun 1970-an, sekelompok mahasiswa teknik dari ITB mendirikan sebuah organisasi non pemerintah atau LSM yang bernama yayasan mandiri. LSM ini bergerak di bidang pemberdayaan masyarakat dan pembangunan infrastruktur berbasis teknologi, termasuk juga instalasi PLTMH dan perbaikan kincir air. Selain bergerak pada bidang berbasis teknologi, LSM ini juga aktif menyebarluaskan pengetahuan tentang teknologi PLTMH kepada masyarakat di pedesaan dan dalam melaksanakan studi teknis serta pelatihan. Pada akhir 1980-an, agensi dari Swiss, menyediakan program beasiswa untuk mempelajari turbin air dan keterampilan operasional yang relevan di Eropa. Tujuan program ini tidak lain adalah untuk meningkatkan keterampilan teknis dan tata cara mengatur bengkel logam skala kecil dan menengah di Bandung. Pemerintah melalui PLN dan ESDM juga mulai melaksanakan proyek mikro *hydro* di pedesaan dan pedalaman.

Pada tahun 1990, perusahaan GIZ menerapkan program mikro *hydro* GTZ-MHPP yang bertujuan untuk mendukung standarisasi dan peningkatan kinerja mikro *hydro* di Indonesia, termasuk memperkenalkan turbin *crossflow* dan pengendali beban elektronik. Program ini juga bertujuan untuk meningkatkan kapabilitas dan keahlian praktisi mikro *hydro* Indonesia. Reputasi mikro *hydro* mulai bangkit kembali dan menjadi lebih dikenal luas sebagai solusi teknologi yang berharga untuk elektrifikasi pedesaan. Setelah itu, pendanaan dari pemerintah pusat dan daerah serta donor dan organisasi internasional mulai dialokasikan untuk SHP. Dana ini mendukung peningkatan kapasitas dan bantuan teknis untuk meningkatkan keahlian dan keterampilan terkait mikro *hydro* bagi pengembang proyek, mekanik turbin, dan layanan survei. Pasar mikro *hydro* cukup berkembang melihat berdirinya beberapa produsen turbin air skala kecil di Bandung seperti PT

Cihanjuang Inti Teknik (CINTEK), PT Kramat, dan PT Heksa Hydro. Perusahaan - perusahaan ini dilaporkan memproduksi lebih dari 1.100 unit dengan total hampir 50 MW, termasuk *crossflow*, roda *Pelton*, dan turbin baling-baling. Produk diekspor ke negara-negara di Asia, Afrika, dan Eropa [11].

## 2.2 Fuzzy Inference System

Logika *fuzzy* merupakan sistem penalaran, deduksi, dan perhitungan yang tepat di mana objek akan dianalisis dan dikaitkan dengan informasi yang diberikan. Tidak semua informasi dapat didefinisikan sebagai informasi yang pasti. Terkadang ada informasi yang tidak tepat, tidak pasti, tidak jelas, tidak lengkap atau sebagian bisa benar atau mungkin terjadi [12]. Sistem keputusan *fuzzy* (FIS) adalah salah satu alat paling praktis yang disajikan dalam konteks teori himpunan *fuzzy* untuk menangani pemetaan variabel *input* non linier, tetapi tidak jelas, ke beberapa variabel *output*. Model FIS telah diterapkan dalam berbagai masalah industri dan manajemen. Misalnya, model FIS yang digunakan untuk memantau ekosistem yang sensitif secara ekologis dalam lanskap semi kering yang dinamis dari citra satelit [13]. Sistem *fuzzy* telah menunjukkan kemampuan luar biasa sebagai alat identifikasi sistem. Struktur model didasarkan pada sistem berbasis aturan *fuzzy* tipe *Mamdani* (FRBS), yaitu model *fuzzy* linguistik yang diperoleh terdiri dari serangkaian deskripsi linguistik mengenai perilaku sistem yang dimodelkan [14]. Pada tahun 1975, *Fuzzy Mamdani* mewakili salah satu sistem *fuzzy* pertama yang menerapkan aturan *fuzzy* oleh operator manusia berpengalaman untuk mengendalikan kombinasi mesin uap dan *boiler*. Pendekatan ini telah berhasil digunakan dalam berbagai masalah industri. Berikut beberapa histori mengenai perkembangan *fuzzy*[12].

Tabel 2.1 Perkembangan Fuzzy

Tahun	Inovasi
1971	<i>Zadeh</i> memperkenalkan ide <i>Type-n Fuzzy Set</i> (TnFS) dan oleh karena itu, <i>Type-2 Fuzzy Set</i> (T2FS)
1975	<i>Zadeh</i> menyajikan definisi Himpunan <i>Fuzzy Tipe-n</i> .
1975	<i>Sambuc</i> mengusulkan konsep <i>Interval-Valued Fuzzy Set</i> (IVFS) dengan nama $\Phi$ - <i>Flou Sets</i> . <i>Zadeh</i> menyarankan gagasan yang sama tentang

	himpunan <i>fuzzy</i> bernilai interval seperti kasus tertentu himpunan fuzzy tipe-2. Pada tahun 1976 <i>Grattan-Guinness</i> berbicara tentang IVFS dan, pada tahun delapan puluhan, <i>Gorzalczany</i> dan <i>Turksen</i> akhirnya menetapkan penamaan dan properti pertama IVFS.
1976	<i>Mizumoto</i> dan <i>Tanaka</i> , <i>Dubois</i> dan <i>Prade</i> pada tahun 1979 dan pada tahun 1998 <i>Mendel</i> dan <i>Karnik</i> mengusulkan definisi matematis T2FS, serta operasi pertama pada himpunan tersebut.
1976	<i>Grattan-Guinness</i> memaparkan pengertian <i>Set-Valued Fuzzy Set</i> (SVFS) serta beberapa operasi berdasarkan perkembangan sebelumnya untuk aljabar bernilai banyak.
1983	<i>Atanassov</i> memaparkan definisi <i>Atanassov Intuitionistic Fuzzy Set</i> (AIFS).
1986	<i>Yager</i> memberikan ide tentang <i>Fuzzy Multiset</i>
1989	<i>Atanassov</i> dan <i>Gargov</i> menyajikan gagasan <i>Interval-Valued Atanassov Intuitionistic Fuzzy Set</i> (IVAIIFS).
1989	Kumpulan Abu-abu (GS) didefinisikan oleh <i>Deng</i>
1990	<i>Dubois</i> dan <i>Prade</i> memperkenalkan definisi <i>Fuzzy Rough Set</i>
1993	<i>Gau</i> dan <i>Buehrer</i> mendefinisikan konsep <i>Vague Set</i> (VS)
1996	<i>Zhang</i> memaparkan definisi <i>Bipolar Valued Fuzzy Set</i> (BVFSZ). Kami menyebutnya Himpunan <i>Fuzzy</i> Bernilai Bipolar dalam pengertian <i>Zhang</i> .
1998	<i>Pedrycz</i> memperkenalkan gagasan <i>Shadow Set</i> .
2000	<i>Liang</i> dan <i>Mendel</i> memperkenalkan ide <i>Interval Type-2 Fuzzy Set</i> (IT2FS).
2000	<i>Lee</i> memperkenalkan konsep baru dengan nama <i>Bipolar-Valued Fuzzy Set</i> . Kami menyebutnya Himpunan <i>Fuzzy</i> Bernilai Bipolar dalam pengertian <i>Lee</i> (BVFSL).
2001	<i>Maji</i> , <i>Biswas</i> dan <i>Roy</i> memperkenalkan pengertian <i>Fuzzy Soft Set</i>
2002	<i>Smaradache</i> memperkenalkan konsep Himpunan <i>Neutrosodik</i> .
2002	<i>Kandel</i> memperkenalkan konsep Himpunan <i>Fuzzy</i> Kompleks.
2006	<i>Mendel</i> dkk. menyajikan definisi matematis mereka tentang IT2FS.
2010	<i>Torra</i> memperkenalkan gagasan <i>Hesitant Fuzzy Set</i> (HFS).

2013	<i>Yager</i> memberikan ide tentang <i>Pythagoras Fuzzy Set</i> (PFS).
2014	<i>Bedregal</i> dkk. memperkenalkan gagasan <i>Typical Hesitant Fuzzy Set</i> (THFS).
2014	<i>Mesiarova-Zemankova</i> dkk. menyajikan konsep <i>m-Polar-Valued Fuzzy Set</i> (mPVFS).

Pada tahun 1971, ada beberapa masalah yang cukup krusial dan memainkan peran utama dalam pengenalan pola. Masalah tersebut adalah derajat keanggotaan elemen ke set *fuzzy*. Penentuan derajat keanggotaan masing-masing elemen terhadap himpunan merupakan masalah terbesar untuk menerapkan teori *fuzzy set*. Karena pertimbangan ini, konsep tipe 2 *fuzzy* diberikan dengan cara membatasi nilai derajat keanggotaan menjadi 0 hingga 1. Pada tahun 1975 Sambuc mempresentasikan konsep Interval *Valued Fuzzy Set* (IVFS) dengan nama  $\Phi$  - *fuzzy set*. *Zadeh* menyarankan gagasan yang sama tentang set *fuzzy* bernilai interval di halaman 242 dari sebagai kasus tertentu dari set *fuzzy* tipe -2. Pada tahun yang sama, *Jahn* menulis tentang set ini. Satu tahun kemudian, *Grattan - Guinness* menetapkan definisi fungsi keanggotaan IV. Pada dekade yang sama IVFS muncul dalam literatur dalam berbagai samaran dan tidak sampai tahun 1980, dengan karya *Gorzalczany* dan *Turksen* bahwa pentingnya set ini, serta namanya, sudah pasti ditetapkan[12].

Di dalam *fuzzy* terdapat fungsi keanggotaan atau *membership function* untuk menentukan atau mengelompokkan situasi yang tidak jelas misalnya berbentuk linear, cekung atau bentuk eksponensial. Ada bentuk berupa trapesium segitiga linier dan trapesium linear adalah dua jenis fungsi keanggotaan yang diterapkan secara umum ke dalam beberapa penelitian. Fungsi keanggotaan ini di dalamnya berisi masukan dari *Mamdani fuzzy inference system* (FIS) yang bisa disebut FIS 1, FIS 2, 3 dst. Setiap FIS, terdapat sebuah nama kelas yang dikelompokkan berdasarkan kasus yang akan dibuat. Misalnya FIS 1 bernama sangat rendah. FIS 2 bernama rendah. FIS 3 bernama sedang dan FIS 4 bernama tinggi. *Input* FIS yang dimiliki *fuzzy set* ini dapat diberikan tambahan lagi dan tidak hanya memiliki satu *input* saja. Contoh persamaan himpunan *fuzzy* jenis kurva segitiga adalah sebagai berikut.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 ; x < y_1 \text{ atau } x > y_3 \\ \frac{x - y_1}{y_2 - y_1} ; y_1 \leq x \leq y_2 \\ \frac{y_3 - x}{y_3 - y_2} ; y_2 \leq x \leq y_3 \end{cases} \quad (1)$$

Di mana  $\mu[x]$  adalah himpunan *fuzzy*,  $x$  dan  $y$  adalah derajat keanggotaan. Untuk menentukan derajat keanggotaan, harus mengelompokkan nilai *input* terlebih dahulu dan memasukkan ke dalam kelas-kelas khusus. Sedangkan tipe *gaussian* adalah sebagai berikut.

$$\mu_i(x) = e^{-\left(\frac{x-c_i}{2\sigma_i}\right)^2} \quad (2)$$

Variabel  $c_i$  adalah rata-rata nilai *gaussian* pada kelompok tersebut dan  $\sigma_i$  adalah standar deviasi. Berikutnya adalah tipe *trapezoidal membership function*.

$$\mu_i(x) = \max \left( \min \left( \frac{x - a}{b - a}, 1, \frac{d - x}{d - c} \right), 0 \right) \quad (3)$$

Persamaan (8) adalah *trapezoidal membership function* yang digunakan pada masukan kedua *fuzzy*. Di mana  $a, b, c, d$  adalah nilai yang akan dipetakan ke dalam grafik.

Adapun cara menentukan vektor linear dapat digunakan sebagai berikut untuk mengelompokkan nilai *input*.

$$y = \frac{x_2 - x_1}{n - 1} \quad (4)$$

Variabel  $x_2, x_1$  adalah nilai maksimum dan minimum *input*. Adapun *rules fuzzy* yang menyatakan kondisi dan pernyataan studi kasus untuk menentukan keputusan fuzzy berikutnya. Rules fuzzy ditulis dengan IF-THEN. Sebagai contoh IF *input* rendah (FIS 1) THEN *output* tinggi. Setelah rules diputuskan, proses mengintegrasikan set *fuzzy* dari fungsi keanggotaan yang telah diidentifikasi dan mempertimbangkan aturan *fuzzy* sehingga area *fuzzy* saling terkait. Masing-masing area terkait, dihitung berdasarkan tipe masing-masing fuzzy set dan menentukan ke dalam definisi minimum atau definisi maksimum. Lalu pada *output fuzzy* yang diinginkan juga dihitung berdasarkan tipe *fuzzy* set yang digunakan serta pertimbangan maksimum atau minimum model *fuzzy* yang dibuat. Kemudian proses terakhir adalah *defuzzification* yang digunakan untuk mengubah perhitungan *fuzzy output* ke dalam *crisp output*. Adapun tipe-tipe *defuzzification* yang dapat digunakan antara lain metode Center of Area (COA), Bisector of Area (BOA), Mean

of Maximum (MOM), Smalles of Maximum (SOM) dan Largest of Maximum (LOM) [13].

$$z^* = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z)dz} \quad (5)$$

Di mana  $z$  adalah hasil dari himpunan *fuzzy* yang baru setelah hasil perhitungan dalam proses *fuzzification* berdasarkan *rules* yang dibuat

### 2.3 Flower Pollination Algorithm

Algoritma ini terinspirasi dari penyerbukan bunga. Salah satu proses yang menarik yang pernah terjadi di alam. Karakter evolusionernya dapat digunakan untuk merancang algoritma optimasi. Kejadian di alam telah memecahkan masalah yang menantang selama jutaan atau bahkan miliaran tahun. Di dalamnya terjadi banyak biologis yang berevolusi dengan efisiensi yang mengejutkan dalam memaksimalkan tujuan evolusi mereka seperti reproduksi. Inilah bukti mengapa banyak algoritma yang terinspirasi oleh alam telah dikembangkan beberapa dekade terakhir. Pada bahasan kali ini, tidak terfokus pada beberapa algoritma yang dikembangkan dan terinspirasi dari alam.

Ada lebih dari seperempat juta jenis tanaman berbunga di alam dan sekitar 80% dari semua spesies tanaman adalah spesies berbunga. Masih tetap menjadi misteri bagaimana tanaman berbunga bisa mendominasi. Tanaman berbunga telah berkembang selama lebih dari 125 juta tahun dan bunga telah menjadi sangat berpengaruh dalam evolusi, kita tidak dapat membayangkan bagaimana dunia tanaman tanpa bunga. Tujuan utama bunga pada akhirnya adalah reproduksi melalui penyerbukan. Penyerbukan bunga biasanya dikaitkan dengan transfer serbuk sari, dan transfer tersebut sering dikaitkan dengan penyerbuk seperti serangga, burung, kelelawar, dan hewan lainnya. Bahkan, beberapa bunga dan serangga telah berevolusi bersama hubungan kerja sama simbiosis mutualisme. Misalnya, beberapa bunga hanya dapat menarik dan hanya dapat bergantung pada spesies serangga tertentu untuk melakukan kegiatan penyerbukan yang berhasil.

Berdasarkan cara penyerbukan, di bagi menjadi dua bagian utama yaitu abiotik dan biotik. Sekitar 90% tanaman berbunga termasuk dalam penyerbukan biotik, yaitu serbuk sari ditransfer oleh penyerbuk seperti serangga dan hewan. Sekitar 10% penyerbukan berbentuk abiotik yang tidak memerlukan penyerbuk.

Angin dan difusi dalam air dapat berperan besar dalam membantu penyerbukan tanaman dan rumput berbunga pada jenis abiotik. Serangga penyerbuk memiliki kurang lebih 200.000 variasi serangga, kelelawar dan burung. Lebah madu adalah contoh penyerbuk yang memilih jenis bunga dengan spesies tertentu saja (*constancy flower*). Artinya, penyerbuk serangga cenderung memilih bunga secara eksklusif dan melewati spesies bunga lainnya yang tidak tercantum ke dalam daftar mereka. Perilaku seperti ini, mungkin memiliki keuntungan evolusioner karena dapat memaksimalkan transfer serbuk sari bunga ke tanaman yang sama atau spesifik dan dengan demikian, mampu memaksimalkan reproduksi spesies bunga yang sama. Selain itu, mereka dapat yakin sisa dari pasokan nektar yang tersedia dari pada berfokus pada beberapa spesies bunga baru yang tidak dapat diprediksi tetapi bisa saja berpotensi lebih bermanfaat, tetapi hal ini mungkin akan memerlukan riset lebih lanjut sedangkan dengan pilah memilah spesies bunga memerlukan biaya investasi minimum dan lebih mungkin menjamin asupan nektar.

Penyerbukan abiotik mengandalkan angin dan difusi dalam air tetapi ada juga penyerbukan biotik secara silang atau *cross pollination* yang dapat di bawa oleh hewan. Penyerbukan silang dapat disebut juga sebagai alogami yang terjadi dari serbuk sari bunga tanaman yang berbeda, sedangkan penyerbukan sendiri atau *self pollination* adalah pemupukan satu bunga, seperti bunga persik, dari serbuk sari bunga yang sama atau bunga yang berbeda dari tanaman yang sama, yang sering terjadi ketika tidak ada penyerbuk yang datang. Penyerbukan silang abiotik terkadang dapat terjadi pada jarak jauh karena dibawa oleh penyerbuk seperti lebah, kelelawar, burung dan lalat sehingga mereka dapat dianggap sebagai penyerbukan global. Selain itu, lebah dan burung dapat berperilaku seperti perilaku penerbangan *Levy*, dengan langkah melompat atau terbang mengikuti distribusi *Levy*. Selanjutnya, *constancy flower* yang dilakukan spesies penyerbuk lebah dapat digunakan langkah kenaikan dengan menggunakan kesamaan atau perbedaan dua bunga. Berdasarkan paragraf di atas, ide dari penyerbukan bunga dapat digunakan aturan-aturan berikut untuk membuat algoritma optimasi.

1. Biotik dan penyerbukan silang dipertimbangkan sebagai proses penyerbukan global atau global *pollination* dengan menggunakan *levy flights*.

2. Abiotik dan penyerbukan sendiri atau self *pollination* dipertimbangkan sebagai penyerbukan lokal atau *local pollination*.
3. *Flower constancy* bisa dipertimbangkan sebagai probabilitas reproduksi jika ada bunga yang satu spesies.
4. Penyerbukan lokal dan global dikendalikan oleh probabilitas kemungkinan dari 0 sampai satu.

Dalam hal kenyataan dan konsep algoritma ini tidak 100% sama jika diperhatikan setiap detailnya. Dalam dunia nyata, setiap tanaman memiliki banyak bunga dan setiap petak bunga sering melepaskan jutaan bahkan miliaran gamet serbuk sari. Namun konsep algoritma ini dibuat lebih sederhana dan diasumsikan bahwa setiap tanaman hanya memiliki satu bunga. Setiap bunga hanya menghasilkan satu gamet serbuk sari. Dengan demikian, tidak perlu membedakan gamet serbuk sari, bunga, tanaman atau solusi untuk suatu masalah[15]. Nilai fitness atau fungsi objektif pada penelitian ini menggunakan ITAE yang diberikan pada persamaan berikut.

$$ITAE = \int_0^T t|e(t)|dt \quad (6)$$

Cara melakukan lokal *pollination* adalah sebagai berikut [16].

$$S_i = S_{i-1} + rand * (Sol_{r1} - Sol_{r2}) \quad (7)$$

Di mana  $Sol_r$  adalah nilai acak dari solusi PID. Prinsipnya adalah dengan mengalikan hasil pengurangan nilai  $Sol_r$  dengan nilai acak lalu menambahkan dengan hasil penyerbukan sebelumnya. Sedangkan untuk melakukan global *pollination* adalah dengan cara seperti berikut.

$$s = \frac{U}{|V|^{1/\lambda}} \quad (8)$$

Variabel  $s$  adalah *Lévy Flights* sedangkan  $U$  dan  $V$  adalah sampel acak dari normal distribusi *gaussian*. Untuk lebih jelasnya,  $U$  dan  $V$  digambarkan sebagai berikut.

$$U \sim (0, \sigma_u^2), V \sim (0, \sigma_v^2) \quad (9)$$

$$\sigma_u = \left[ \frac{\gamma(1+\lambda)}{\lambda\gamma(\frac{1+\lambda}{2})} \cdot \frac{\sin \frac{\lambda\pi}{2}}{2^{(\lambda-1)/2}} \right]^{1/\lambda}, \sigma_v = 1 \quad (10)$$

Nilai  $\lambda$  harus berada pada 0,75 dan 1,95 adalah yang terbaik untuk kontrol menurut jurnal [16]. Pada naskah ini, nilai  $\lambda$  adalah 1,5 yang dianjurkan sesuai jurnal [16].

Penggunaan FPA diklaim lebih baik dibandingkan algoritma optimasi GA, PSO, ACO, CS, GWO, GOA berdasarkan jurnal [16]. Karena mendapatkan nilai *error* yang lebih kecil.

