

# Unit Commitment Problem Menggunakan Algoritma Binary Particle Swarm Optimization

## Studi Kasus: Sistem Kelistrikan Kabupaten Sumbawa

Indra Darmawan <sup>1)</sup>, Joko Waluyo <sup>2)</sup>, Nur Aini Masruroh <sup>3)</sup>

<sup>1),2),3)</sup> Teknik Sistem, Universitas Gadjah mada  
Jl. Teknik Utara no 3. Yogyakarta  
Email : indra.id09@gmail.com

**Abstrak.** Fokus penelitian ini adalah penyelesaian permasalahan unit commitment untuk sistem kelistrikan di Kabupaten Sumbawa. Dalam prosesnya dikembangkan 2 model yaitu: model pertama seluruh sistem dilayani pembangkit diesel dan model kedua integrasi pembangkit diesel, pembangkit angin, panel surya dan baterai dengan penetrasi 5%. Algoritma binary particle swarm optimization digunakan sebagai metode penyelesaian. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk memperoleh model penjadwalan pembangkit guna meminimalkan biaya bahan bakar. Hasil unit commitment diperoleh, nilai konvergen untuk setiap model oleh algoritma binary particle swarm optimization masing-masing iterasi ke-5 untuk model pertama dan iterasi ke-2 untuk model kedua penetrasi 5%. Secara empiris faktanya, Integrasi pembangkit diesel, pembangkit angin, panel surya dan baterai mampu meminimalkan biaya bahan bakar sebesar 6% jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan pembangkit diesel saja.

**Kata kunci:** Unit Commitment, Binary Particle Swarm Optimization.

### 1. Pendahuluan

Kabupaten Sumbawa merupakan salah satu kabupaten yang ada di provinsi Nusa Tenggara Barat. Sistem kelistrikan Kabupaten Sumbawa merupakan sistem kelistrikan radial dengan jaringan 20 kV yang terbagi dalam tiga sub sistem yaitu: sub sistem Taliwang, sub sistem Labuhan dan sub sistem Empang [1]. Secara fakta, sistem kelistrikan di Kabupaten Sumbawa saat ini hanya disuplai oleh pembangkit diesel yang terbagi antara pembangkit milik PLN dan pembangkit sewa. Dalam operasi sistem tenaga listrik komponen biaya terbesar terbesar merupakan biaya bahan bakar [2]. Optimasi pembangkit merupakan solusi kongkret yang diperlukan guna meminimalkan biaya bahan bakar. Proses optimasi dilakukan dengan operasi ekonomis melalui dua cara yaitu *economic dispatch* dan *unit commitment*. *Unit commitment* merupakan penjadwalan *on/off* unit pembangkit dengan memperhatikan kekangan, sedangkan *economic dispatch* merupakan operasi ekonomis dengan melakukan pembagian pembebanan setiap unit pembangkit dalam sistem tenaga listrik [3].

Penyelesaian permasalahan *unit commitment* telah banyak dilakukan dengan berbagai metode, dimana awalnya dilakukan dengan cara-cara sederhana secara konvensional dengan kombinasi biaya termurah. Penelitian dengan metode konvensional *mixed integer linier programming* dilakukan [4,5,6,7]. Metode konvensional lainnya seperti *dynamic programming* dilakukan [8,9,10]. Hasil penelitiannya diketahui bahwa implementasi metode konvensional sangat baik dalam tataran waktu komputasi dibandingkan dengan metode heuristik. Dalam prosesnya, penyelesaian permasalahan *unit commitment* mengalami perkembangan dengan menggunakan metode-metode pendekatan heuristik seperti *genetic algorithm*, *binary particle swarm optimization*, *particle swarm optimization* dan *binary glowworm swarm optimization*, hal ini dilakukan guna mengatasi kelemahan pada metode konvensional seperti MILP dan DP. Implementasi metode *genetic algorithm* dilakukan [11,12,13,14]. Penerapan algoritma *binary particle swarm optimization* dilakukan dalam proses penjadwalan dengan memperhatikan biaya takulus [15], hasilnya diketahui bahwa besarnya biaya takulus mempengaruhi biaya bahan bakar.

Gambaran diatas diketahui bahwa permasalahan *unit commitment* merupakan permasalahan yang sangat penting diselesaikan. Oleh karnanya pada penelitian ini dilakukan penyelesaian *unit commitment* untuk sistem kelistrikan di Kabupaten Sumbawa untuk tanggal 1 juli 2018. Dalam penyelesaiannya di kembangkan 2 model yaitu: sistem yang hanya disuplai oleh pembangkit diesel (lihat gambar 1) dan sistem yang disuplai oleh pembangkit diesel angin, panel surya dan baterai (lihat

gambar 2). Penetrasi pembangkit angin, panel surya dan baterai sebesar 5%. Binary particle swarm optimization digunakan sebagai metode penyelesaian yang di acu dari [15]. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh pembangkit angin, panel surya dan diesel dalam meminimalkan biaya bahan bakar jika dibandingkan dengan sistem yang disuplai oleh pembangkit diesel.

## 2. Pembahasan

Data pembangkit diesel, beban sistem, potensi angin, solar irradiation dan baterai pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Tabel 2. Proses komputasi untuk algoritma *binary particle swarm optimization* dilakukan pada pemrograman MATLAB. Hasil dari penyelesaian *unit commitment* untuk sistem kelistrikan Kabupaten Sumbawa tanggal 1 juli 2018, pada model pertama diperoleh biaya bahan bakar sebesar Rp 755.959.269.- (Tabel 3), untuk biaya minimum pada pukul 05.00 sebesar Rp. 25.861.357.- dan untuk biaya maksimum pada pukul 22.00 sebesar Rp. 46.584.258.- . Pada model kedua biaya bahan bakar diperoleh Rp. 708.195.902.- dengan deskripsi biaya minimum pada pukul 05.00 sebesar Rp. 24.143.623.- dan untuk biaya maksimum pada pukul 22.00 sebesar Rp. 43.806.100.-, hasil *unit commitment* disajikan pada Tabel 4. Hasil iterasi untuk setiap model di sajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

### 2.1. Tabel Data dan Hasil Penelitian

Tabel 1. Data Pembangkit Diesel

| Unit Pembangkit  | Daya Maksimum (kW) | Daya Minimum (kW) |
|------------------|--------------------|-------------------|
| BPSA Boak        | 14000              | 10500             |
| BGP Badas        | 6000               | 10500             |
| Sewatama Labuhan | 4000               | 2800              |
| ALLEN 2          | 2200               | 1000              |
| DEUTZ 1          | 1200               | 500               |

Tabel 2. Sepesifikasi Baterai

| Kapasitas | DOD | SOC | Efisiensi |
|-----------|-----|-----|-----------|
| 5 MW      | 80% | 20% | 0,9       |

Tabel 3. Hasil *Unit Commitment* Model Pertama

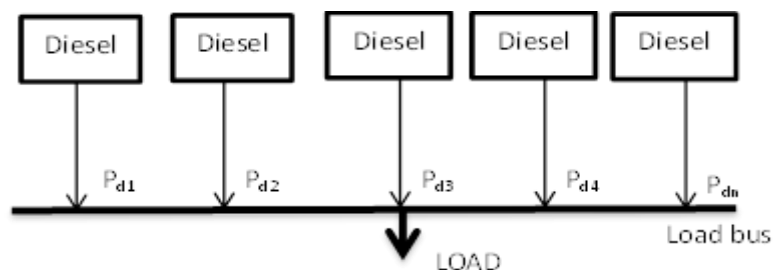
| Waktu                         | Penjadwalan |    |    |    |    | Biaya (Rp) | Waktu | Penjadwalan |    |    |    |    | Biaya (Rp) |
|-------------------------------|-------------|----|----|----|----|------------|-------|-------------|----|----|----|----|------------|
|                               | P1          | P2 | P3 | P4 | P5 |            |       | P1          | P2 | P3 | P4 | P5 |            |
| 01.00                         | 1           | 1  | 0  | 0  | 0  | 31.819.621 | 13.00 | 1           | 0  | 1  | 0  | 0  | 28.737.771 |
| 02.00                         | 1           | 0  | 1  | 0  | 0  | 29.586.926 | 14.00 | 1           | 0  | 1  | 0  | 0  | 29.219.172 |
| 03.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 27.753.095 | 15.00 | 1           | 0  | 1  | 0  | 1  | 29.867.101 |
| 04.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 26.818.239 | 16.00 | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 29.267.922 |
| 05.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 25.861.357 | 17.00 | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 29.362.625 |
| 06.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 26.122.172 | 18.00 | 1           | 0  | 1  | 0  | 1  | 29.659.865 |
| 07.00                         | 1           | 0  | 1  | 0  | 0  | 28.267.622 | 19.00 | 1           | 1  | 0  | 1  | 0  | 37.822.754 |
| 08.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 26.334.827 | 20.00 | 1           | 1  | 1  | 1  | 1  | 44.203.319 |
| 09.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 26.219.191 | 21.00 | 1           | 1  | 1  | 0  | 1  | 42.633.885 |
| 10.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 27.714.265 | 22.00 | 1           | 1  | 1  | 1  | 1  | 46.584.258 |
| 11.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 27.629.658 | 23.00 | 1           | 1  | 0  | 1  | 0  | 39.349.403 |
| 12.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 28.256.522 | 00.00 | 1           | 1  | 0  | 0  | 1  | 36.867.686 |
| Total Biaya Rp. 755.959.269.- |             |    |    |    |    |            |       |             |    |    |    |    |            |

Tabel 4. Hasil *Unit Commitment* Model kedua

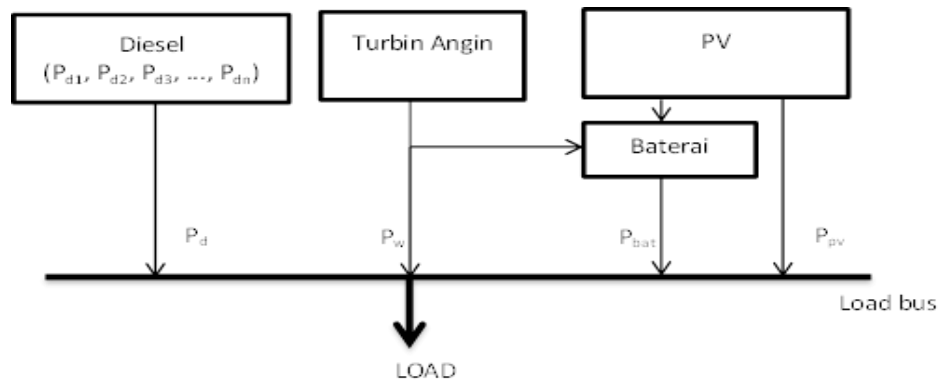
| Waktu                         | Penjadwalan |    |    |    |    |    |    |     | Biaya (Rp) |
|-------------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|-----|------------|
|                               | P1          | P2 | P3 | P4 | P5 | pw | pv | bat |            |
| 01.00                         | 1           | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 30.160.010 |
| 02.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1   | 27.682.914 |
| 03.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1   | 25.940.774 |
| 04.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1   | 25.052.661 |
| 05.00                         | 1           | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1   | 24.143.623 |
| 06.00                         | 1           | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1   | 24.391.397 |
| 07.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 26.429.575 |
| 08.00                         | 1           | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1   | 24.593.420 |
| 09.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0   | 24.483.565 |
| 10.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0   | 25.903.886 |
| 11.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0   | 25.823.509 |
| 12.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0   | 26.419.030 |
| 13.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0   | 26.876.216 |
| 14.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0   | 27.333.548 |
| 15.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0   | 27.949.080 |
| 16.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0   | 27.379.860 |
| 17.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 27.469.827 |
| 18.00                         | 1           | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 27.752.206 |
| 19.00                         | 1           | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1   | 35.494.211 |
| 20.00                         | 1           | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1   | 41.544.208 |
| 21.00                         | 1           | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1   | 40.053.246 |
| 22.00                         | 1           | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1   | 43.806.100 |
| 23.00                         | 1           | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1   | 36.932.988 |
| 00.00                         | 1           | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 34.580036  |
| Total Biaya Rp. 708.195.902.- |             |    |    |    |    |    |    |     |            |

Dimana P1 merupakan unit pembangkit BPSA BOAK, P2 adalah BGP Badas, P3 merupakan Sewatama Labuhan, P4 unit pembangkit ALLEN 2, P5 merupakan unit pembangkit DEUTZ 1 dan Pw, Ppv, Pbat masing-masing Pembangkit angin, panel surya dan baterai.

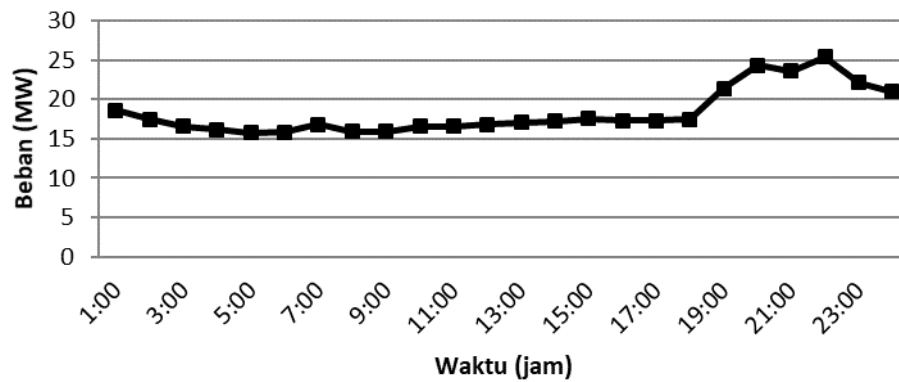
## 2.2. Gambar dan Keterangan Gambar



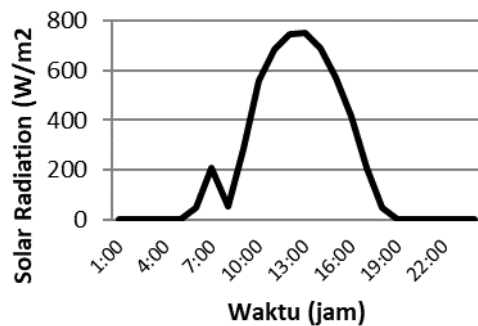
Gambar 1. Sistem Kelistrikan Model 1



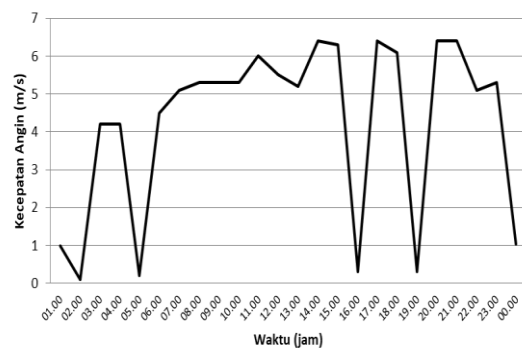
Gambar 2. Sistem Kelistrikan Model 2



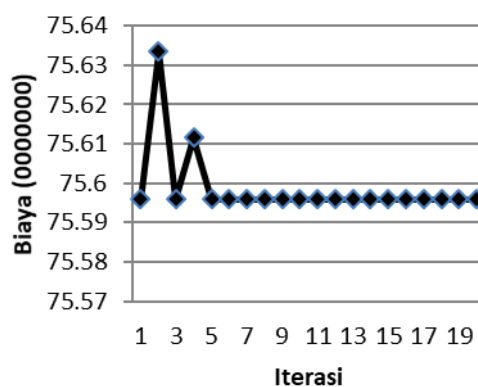
Gambar 3. Profil Beban Kelistrikan Kabupaten Sumbawa [1]



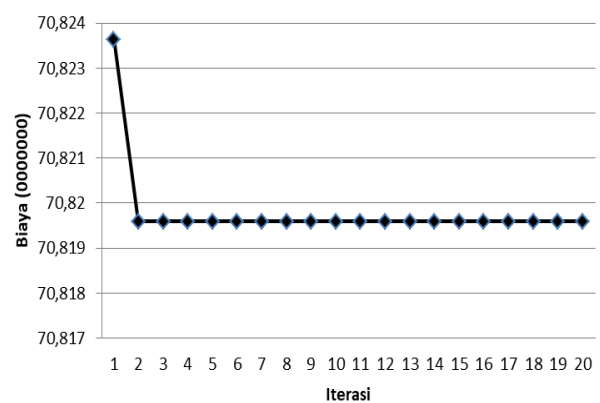
Gambar 4. Solar Irradiation [16]



Gambar 5. Kecepatan Angin[16]



Gambar 6. Trajectory Iteration Model Pertama



Gambar 7. Trajectory Iteration Model kedua

### 2.3. Persamaan

Penelitian ini berfokus pada permasalahan *unit commitment* yang mana dimaksudkan guna mengurangi biaya bahan bakar. Adapun persamaan fungsi objektif yang digunakan[17]:

$$\text{Min } TC = \sum_{t=1}^T [\sum_{i=1}^n F(p_{di}) + SC_{it}] u_{i,t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dan untuk faktor kendala dijabarkan:

1. Keseimbangan daya

$$\sum_{t=1}^T \text{load}_t = \sum_{i=1}^n P_{dit} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{t=1}^T \text{load}_t = \sum_{i=1}^n P_{dit} + p_w + p_{pv} + p_{bat} \quad \dots\dots\dots(3)$$

2. Kapasitas maksimum dan minimum

$$p_{di,min} \ll p_{di} \ll p_{di,max} \quad \dots\dots\dots(4)$$

3. Pembangkit angin

Besar energi listrik yang dihasilkan pembangkit angin harus memenuhi:

$$P_w = \begin{cases} 0 & v(t) \leq V_{ci} \\ P_{out} & V_{ci} < V_r(t) < V_{co} \\ P_r & v(t) > V_{co} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$P_w = \frac{1}{2} C_p \rho_a \eta_g A_w V_r^3 \quad \dots\dots\dots(6)$$

4. Panel surya

$$P_{pv} = \eta_{pv} A_{pv} S(t) \quad \dots\dots\dots(7)$$

5. Baterai

Baterai digunakan saat kondisi pembangkit angin dan panel surya tidak mampu mensuplai 5% beban. Pemamfaatan baterai juga dimaksudkan sebagai backup saat kondisi panel surya tidak mampu menghasilkan listrik. Sehingga diperoleh dua kondisi untuk baterai:

- kondisi baterai diisi atau *charge* K

$$\text{jika } P_{pv} + P_w > (5\%) \text{ load} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$SOC_{bat}(t) = SOC_{bat}(t-1) + \eta_b P_{bat} \text{ jika } P_{bat}(t) \leq 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

- kondisi baterai *discharge* atau digunakan K

$$\text{jika } P_{pv} + P_w < (5\%) \text{ load} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$SOC_{bat}(t) = SOC_{bat}(t-1) - \frac{1}{\eta_b} P_{bat} \text{ jika } P_{bat}(t) > 0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana, TC merupakan biaya total bahan bakar selama 1 hari,  $F(p_{di})$  merupakan fungsi biaya unit pembangkit,  $u_{i,t}$  merupakan kondisi nyala dan matinya unit pembangkit ke i saat waktu t,  $SC_{it}$  merupakan biaya start unit i,  $p_d, p_w, p_{pv}, p_{bat}$  merupakan daya keluran pembangkit diesel, angin, panel surya dan baterai,  $SOC_{bat}$  merupakan kapasitas baterai yang tersedia (W),  $\eta_b$ : Efisiensi baterai (%),  $P_{bat}$  adalah daya keluaran baterai (W), dan  $C_b$  merupakan kapasitas nominal baterai (w),  $DOD$  persentase kapasitas baterai yang telah digunakan,  $C_p$  merupakan faktor kapasitas,  $A_w$  luas daerah tangkapan angin,  $\eta_g$  efisiensi generator angin,  $V_{ci}, V_r(t), V_{co}$  merupakan kecepatan *cutin*, kecepatan saat waktu t dan kecepatan angin *cutoff*.

### 3. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa point penting:

1. *Unit commitment* menggunakan algoritma *binary particle swarm optimization* pada sistem kelistrikan sumbawa diketahui bahwa, implementasi pembangkit angin, panel surya dan baterai sebesar 5% dalam membantu melayani beban mampu mengurangi biaya bahan bakar sebesar 6% jika dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan pembangkit diesel.

2. Algoritma *binary particle swarm optimization* mampu memperoleh biaya optimum pada iterasi ke-5 untuk model pertama dan iterasi ke-2 untuk model kedua.

### Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis ucapkan kepada ALLAH SWT berkat rahmatnya yang diberikan. Dalam menyelesaikan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada Bapak Joko Waluyo dan Ibu Nur Aini Masruroh selaku pembimbing dalam penyelesaian penelitian ini, istri tercinta Evi Febriani selalu mendukung, dan terkhusus penulis ucapkan kepada kawan saya Gusti Noor Hidayat yang telah banyak membantu baik moril dan materil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

### Daftar Pustaka

- [1] PT PLN Sektor Tambora. 2018. *Rencana Operasi Bulanan*. Sumbawa Besar: PT PLN Persero.
- [2] N. Harun. 2011. *Bahan Ajar Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik*. Makasar. Universitas Hassanudin.
- [3] Abdel, S., Abdel, S.H dan Mantawy, H.A. 2010. *Optimization Techniques with Applications in Electrical Power Systems*. New York: Springer Science Business Media.
- [4] Tuffaha M., and Gravdahl J. T, "Mixed-integer formulation of unit commitment problem for power systems: Focus on start-up cost," in *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 2013, pp. 8160–8165.
- [5] Gentile, C., Espana, M.G dan Ramos, "A Tight MIP Formulation of the Unit Commitment Problem with Start-up and Shut-down Constraints," *Elsavier*, no. july, pp. 1–13, 2014.
- [6] Kenneth V den Bergh, Kenneth B, Erik De, William D'haeseleer, "A Mixed-Integer Linear Formulation of the Unit Commitment Problem A Mixed-Integer Linear Formulation of the Unit Commitment Problem," WP EN2014-07, 2014.
- [7] Viana, A dan Pedroso, J.P, "A new MILP-based approach for Unit Commitment in power production planning .," *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 1–7, 2004.
- [8] Walter L., Snyder, Jr, "Dynamic Programming Approach To Unit Commitment," *IEEE Trans. Power Syst.*, no. 2, pp. 339–348, 1987.
- [9] Neha T., Titare L.S., "Determination of Unit Commitment Problem Using Dynamic Programming," in *J. Nov. Res. Electr. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 24–28, 2016.
- [10] Singhal, P, K., "Dynamic Programming Approach for Solving Power Generating Unit Commitment Problem," in *International Conference on Computer & Communication Technology (ICCCCT)*-, 2011, no. 5, pp. 298–303.
- [11] Sarjiya, Sasongko, P.H., Wijayanti D, R., "Unit Commitment dengan Kekangan Keandalan Menggunakan Algoritme Genetika Mempertimbangkan Ketidakpastian Beban," in *JNTETI*, vol. 5, no. 4, pp. 341–347, 2016.
- [12] Kazarlis, S.A., Bakirtzis, A.G dan Petridis, V., "A Genetic Algorithm Solution To The Unit Commitment Problem," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. February, pp. 83–92, 1996.
- [13] Hatim S. Madraswalal and Anuradha S. Deshpande, "Genetic Algorithm Solution to Unit Commitment Problem," in *ICPEICES*, 2016, no. 2, pp. 1–6.
- [14] Logenthiran, T dan Srinivasan, D., "Short term generation scheduling of a microgrid," *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, pp. 1–6, 2009.
- [15] Utama, F.F., Wibowo, R.S dan Putra F.M., "Unit Commitment Mempertimbangkan Fungsi Biaya Tak Mulus dengan Metode Binary Particle Swarm Optimization, *Jurnal Teknik ITS*," vol. 3539, no. 2, 2016.
- [16] BPS Sumbawa. 2018. *Sumbawa Dalam Angka*. Sumbawa. BPS 2018.
- [17] Sediqi, M., Furukakoi M.M., Mohammed E. Lotfy, Atsushi Yona dan Tomonobu Senjyu, "An Optimization Approach for Unit Commitment of a Power System Integrated with Renewable Energy Sources: A Case Study of Afghanistan," *J. Energy Power Eng.*, vol. 11, pp. 528–536, 2017.