

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Load Frequency Control (LFC)*

Ada tiga area atau tiga wilayah dalam kontrol frekuensi pada LFC, di antaranya adalah kontrol primer, kontrol sekunder dan kontrol *tertiary*. Kontrol primer berperan penting dalam mencegah penurunan frekuensi sebelum akhirnya mencapai atau menuju titik atas/bawah dari relai proteksi. Lokasi penerapan kontrol primer terdapat pada *governor droop* yang diberi masukan dari *error steady state*. Berikutnya adalah kontrol sekunder yang tidak lain yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan memberikan kontrol TID pada Area *Control Error (ACE)*. Pengontrolan area sekunder dengan TID memiliki tujuan mengendalikan dan menjaga frekuensi dan memperkecil nilai kesalahan, terutama saat ada beban listrik. Terakhir, ada kontrol *tertiary* yang tidak dilakukan secara langsung pada penelitian ini serta tidak dapat dilakukan pada ruang simulasi. Alasannya terletak pada kontrol *tertiary* harus dilakukan secara langsung oleh mekanik dan teknisi yang bertugas langsung di lapangan[12].

Terkadang, ada yang menyebutkan istilah LFC dengan AGC atau *Automatic Generation Control*. Istilah tersebut adalah nama lain yang memiliki konsep yang sama. Meskipun berbeda istilah, keduanya mengendalikan generator dan mengeluarkan *output* frekuensi. Sebelum mengendalikan atau mengontrol keluaran berupa frekuensi ini, ada daya yang dibangkitkan dari putaran turbin dan ada beban yang mengonsumsi daya. Tentu saja daya pada generator sinkron tidak boleh berlebihan karena dapat menyebabkan bertambahnya akselerasi dan kecepatan rotasi yang menyebabkan nilai delta frekuensi menjadi positif atau dikenal sebagai istilah *overshoot*. Jika daya generator kurang dari beban yang dikonsumsi, maka dapat menyebabkan delta frekuensi menjadi negatif yang dikenal sebagai istilah *undershoot*. Oleh sebab itu, pentingnya mengatur kecepatan rotasi generator sinkron supaya mencegah *overshoot* maupun *undershoot* yang berlebihan. Salah satu cara mengaturnya adalah dengan memberikan kontrol pada ACE seperti yang akan dilakukan pada penelitian ini[13].

Kembali lagi dengan masalah tiga kontrol yang dibahas pada paragraf pertama, berkaitan dengan pengaturan generator sinkron yang membantu

mengurangi masalah-masalah kelebihan ataupun kekurangan pada kecepatan rotasi dan akselerasi pada energi tradisional. Sedangkan energi masa depan atau energi modern, sistem ini harus dituntut lebih baik dan maksimal untuk mendistribusikan energi dalam rentang jarak yang jauh. Jika dalam kasus daerah terpencil, yang terbilang memiliki jarak yang jauh dari daerah perkotaan, dapat memunculkan kemungkinan listrik di daerah pelosok tidak mendapatkan sumber listrik yang maksimal. Pilihan lain untuk mengatasi masalah ini, dapat menggunakan energi terbarukan yang mengusung konsep *microgrid* [13].

Saat menggunakan pilihan energi terbarukan dengan konsep *microgrid*, dapat secara khusus memiliki kontrol lebih dibandingkan dengan menggunakan penyedia listrik dari perusahaan. Dibalik hal khusus yaitu kontrol yang lebih leluasa, pengelola harus siap dari gangguan yang akan datang tanpa aba-aba. Tidak cukup di situ saja, pengelola harus pandai membuat energi keluaran listrik yang stabil dan tidak membahayakan perangkat listrik. Tuntutan ini sangat penting dan wajib dilaksanakan supaya perangkat listrik aman dan terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan. Contoh energi terbarukan yang mudah didapatkan meskipun di daerah pedesaan yang jauh dari perkotaan adalah PV dan pembangkit bayu. Jika kembali ke pembahasan paragraf kedua, energi terbarukan tidak memiliki *rotating masses* atau kecepatan rotasi yang dikeluarkan dari generator melalui turbin. Cara yang dilakukan oleh energi terbarukan dalam menghasilkan energi listrik AC layaknya generator adalah dengan menggunakan *converter* dan *inverter*[13].

Energi terbarukan dan konsep *microgrid*, terbagi ke dalam beberapa kelompok. Ada kelompok kendali frekuensi seperti *module* PV dan kendaraan listrik. Kelompok kedua adalah permintaan kontribusi frekuensi kontrol (*demand side*). Kelompok yang kedua ini, harus ada komunikasi operator dengan konsumen dan konsumen dengan operator. Pembahasan topik komunikasinya terkait manajemen konsumsi listrik dan penawaran harga dari listrik yang digunakan. Tetapi kelompok ini tidak akan dibahas sama sekali di penelitian kali ini. Topik yang akan dibahas lebih lanjut adalah mengenai kendali frekuensi seperti kelompok pertama yaitu mengenai kendali frekuensi dari *module* PV dan pembangkit gas jika keduanya digabungkan menjadi sistem *on-grid*. *Module* PV berisi *boost converter*

dan *inverter* yang akan dimodelkan ke dalam persamaan matematika yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

2.2 Pembangkit Gas

Dalam area industri, gas turbin digunakan karena memiliki efisiensi termal yang tinggi, fleksibilitas yang mantap, pengiriman yang cepat, dan kapasitas regulasi yang baik. Suhu buang yang tinggi dari turbin, biasanya digunakan untuk menambah daya ekstra. Adapun contoh serial turbin gas yang terdapat siklus uap ini dapat disebut sebagai *combined cycle gas turbine* (CCGT)[14]. CCGT mempunyai karakter dengan biaya minim. Pada tahun 2040, minyak, gas dan batu bara diperkirakan masing-masing sebesar 27%, 24% dan 23%. Permintaan batu bara sebagai energi primer diperkirakan mengalami pertumbuhan sebesar 0.2% saja. Tapi tidak semua negara mengalami pertumbuhan. Misalnya saja di Cina yang mengalami penurunan sebesar 0.5% dan di beberapa uni Eropa sebesar 3.7%. Lalu pada negara India mengalami pertumbuhan sebesar 3.6% dan beberapa di Asia Tenggara sebesar 4.4%. Pada beberapa wilayah, gas menjadi solusi yang diperkirakan dapat menggantikan batu bara karena harga yang terjangkau. Hal tersebut tidak menjadikan batu bara menghilang. Dia tetap ada dalam jangka pendek. Harga gas yang mahal terjadi di UE, India dan Cina.

Dalam ketersediaan bahan bakar fosil, ada kalanya memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber tambahan untuk memenuhi permintaan listrik. Tetapi penyimpanan energi skala besar untuk keperluan komersial dan hemat biaya, bahan bakar fosil tetap harus dipakai untuk memberikan keluaran daya yang bervariasi untuk memenuhi beban permintaan listrik. Pada beberapa kasus bahan bakar fosil yang dituntun untuk memenuhi beban permintaan listrik, memiliki beberapa dampak negatif. Dampak pertama, dapat menyebabkan komponen melemah dan biaya operasional yang lebih tinggi (menyesuaikan permintaan beban), dan sering terjadi pemadaman listrik serta komponen menjadi berumur pendek. Dampak kedua adalah penurunan kinerja dan emisi yang lebih tinggi (CO₂, NO_x, SO₂) yang berkelanjutan. Inilah yang menjadi tantangan penggunaan bahan bakar fosil di berbagai negara. Pentingnya memanfaatkan energi terbarukan untuk mengurangi tantangan ini menjadi salah satu solusi. Tetapi di Jerman, ketika menggunakan energi terbarukan, harus mengutamakan tenaga angin dan matahari terlebih dulu

sebelum menggunakan teknologi lainnya. Alternatif untuk mengatasi tantangan dalam memastikan sistem kelistrikan yang lebih fleksibel merupakan solusi yang sangat efisien. Fleksibilitas pembangkit diharapkan dapat mengatasi tantangan dalam jangka pendek dan menengah. Ketika pembangkit memiliki kemampuan yang fleksibel, maka permintaan beban listrik sudah tidak menjadi permasalahan lagi. Selain itu, dampak negatif juga seharusnya dapat diminimalkan.

Dengan merealisasikan pembangkit fosil yang memiliki fleksibilitas yang tinggi, maka jaringan transmisi listrik telah dibangun dan dapat dilihat seperti pada zaman sekarang. Tetapi, untuk mengoptimalkan fleksibilitas diperkirakan membutuhkan 10% dari kapasitas energi terbarukan. Pembangkit fleksibel dan tidak bukan dilihat dari jenis bahan bakar yang digunakan. Melainkan desain dari sistem dalam pembangkit itu sendiri. Terkadang, pembangkit gas bisa dikatakan tidak fleksibel dan bisa dikatakan juga pembangkit yang fleksibel [15].

2.3 Solar Energy

Kebutuhan energi sebanding dengan pertumbuhan populasi untuk menciptakan lingkungan hidup yang lebih baik. Beberapa energi yang dipakai oleh manusia saat ini, berasal dari pembakaran bahan bakar fosil tradisional yang dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, perubahan iklim, pemanasan global, polusi udara dan hujan asam. Dengan adanya energi terbarukan dan untuk menghadapi tantangan tersebut, dapat dikurangi dampak buruknya. Dalam mewujudkan hal tersebut, beberapa peneliti, politik dan pemimpin industri turut andil dalam mendalami energi terbarukan. Beberapa pihak terlibat dalam mewujudkan perkembangan teknologi *photovoltaic* ini karena dapat menghasilkan listrik dan menjadi salah satu pasar yang paling menjanjikan di bidang energi terbarukan. Besarnya tingkat investasi yang tinggi di pasar ini, sampai menjadi perdebatan di Eropa, Cina dan Amerika Serikat [16].

Total *photovoltaic* yang terpasang berdasarkan laporan dari badan energi internasional pada tahun 2019, kapasitas *photovoltaic* terpasang adalah sekitar 620 GW. Sedangkan pada tahun 2020, kapasitas mencapai 734 GW yang dipasang. Lalu pada tahun 2021, 2022, 2023 masing-masing adalah 892 GW, 1,2 TW, 1418 TW. Pertumbuhan jumlah dari kapasitas PV meningkat dengan cepat dan tajam [17]. Energi surya merupakan salah satu industri yang paling berkembang di seluruh

belahan dunia. Dalam perkembangannya, perlu meningkatkan material, konsumsi energi, desain perangkat, teknologi produksi, serta konsep-konsep baru dalam meningkatkan efisiensi global. Arti dari *photovoltaic* sendiri mengacu ke istilah listrik, radiasi matahari, pembangkitan langsung dan konversi. Dari istilah tersebut, jika digabungkan maka menjadikan definisi, listrik yang diperoleh secara langsung dari konversi energi surya.

Terjadinya konversi radiasi matahari menjadi listrik diamati pertama kali oleh *Becquerel* pada tahun 1839. Tempat efek ini muncul berasal dari semikonduktor yang menghadirkan dua pita energi yang disalah satu pita (pita valensi) tersebut ada elektron dan pita satunya lagi (pita konduksi) tidak memiliki elektron alias kosong. Bahan semikonduktor yang umum digunakan dan memiliki ketersediaan yang melimpah di bumi adalah silikon. Atom-atom memiliki karakteristik empat elektron yang terhubung ke masing-masing elektron dan menciptakan jaringan kristal. Fungsi dari sinar matahari pada efek *photovoltaic* adalah untuk memasok sejumlah energi ke elektron terluar lalu terjadi perpindahan dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan listrik. Di dalam semikonduktor terdapat sambungan PN yang dimanfaatkan untuk membuat sel surya atau sel *photovoltaic*. Tipe-N bertugas untuk menerima cahaya. Tidak seperti pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil, penggunaan *photovoltaic* tidak berakibat ke masalah lingkungan seperti perubahan iklim, pemanasan global, polusi udara, hujan asam dan sebagainya. Selain itu energi matahari tidak perlu diekstraksi, dimurnikan atau diangkut ke lokasi pembangkitan yang dekat dengan beban. Namun, selama siklus hidupnya, energi ini mengonsumsi sejumlah besar energi dan mengeluarkan beberapa gas rumah kaca dalam beberapa tahap yang terdiri dari proses pembuatan sel surya, perakitan modul *photovoltaic* dan pemrosesan material.

Jika dibandingkan dengan teknologi nuklir, *photovoltaic* memiliki material 64 kali lebih banyak, sumber daya manusia 7 kali lebih banyak dan modal yang dimiliki juga 10 kali lebih banyak dibandingkan dengan teknologi nuklir. Dari tulisan paragraf-paragraf sebelumnya, *photovoltaic* terlihat unggul jika dibahas mengenai dampak negatif dan keunggulan lainnya. Tetapi *photovoltaic* ini tetap memiliki kekurangan. Salah satunya adalah energinya yang sangat tergantung

dengan matahari dan cuaca. Dampaknya adalah pasokan listrik yang mungkin tidak dapat memenuhi permintaan beban listrik. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan penyimpanan energi yang biasa disebut baterai. Keunggulan lain dari energi surya adalah perawatannya yang murah dan tingkat kerusakan yang lebih rendah terhadap lingkungan. Selain itu, ada faktor operasi yang lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik lain seperti pembangkit listrik tenaga air [16].

2.4 TID Controller

Kontrol TID tergolong *fractional* order (fraksi order). Fraksi kalkulus merupakan topik yang sudah berusia lebih dari 300 tahun. Hingga kini, pengaplikasian fraksi kalkulus terus mengalami perkembangan yang pesat. Fenomena matematika ini memungkinkan untuk menggambarkan objek nyata secara akurat dari pada metode klasik “*sequence of integers*”. Objek nyata pada umumnya memiliki bentuk pecahan. Namun, banyak di antaranya memiliki nilai pecahan yang relatif rendah. Contohnya terdapat pada hubungan arus dan tegangan dari saluran transmisi *lossy* semi tak terbatas atau difusi panas melalui benda padat semi tak terbatas, di mana aliran panas sama dengan setengah dari selisih suhu. Jika ditanya alasan mengapa menggunakan model integer-order adalah karena tidak adanya metode solusi untuk persamaan diferensial *fractional*. Saat ini metode untuk perkiraan turunan fraksi dan integral dan fraksi kalkulus sangat mudah dilakukan pada aplikasi yang lebih luas. Sebagai contoh digunakan di dalam metode kontrol seperti yang di lakukan pada penelitian ini. Lalu ada perancangan model simulasi, sirkit elektrik, *fractals*, teori kapasitor dan masih banyak lagi [18].

Pada dasarnya, TID dan PID memiliki persamaan komponen. Tetapi pada komponen proporsional pada PID, diganti dengan fungsi alih “s pangkat $-1/n$ ” pada TID. Fungsi alih yang dihasilkan dari kompensasi mendekati fungsi alih *loop* optimal. Karena mendekati optimal inilah, peningkatan kinerja kontrol akan terjadi. TID juga diklaim memiliki cara setel yang lebih sederhana, minim terjadi gangguan dan memiliki efek variasi yang kecil pada tanggapan sistem tertutup. Tujuan dari TID adalah untuk menyediakan kompensasi pada sistem umpan balik yang lebih baik dan memiliki kelebihan yang tidak dimiliki PID konvensional, tetapi tetap memberikan respons yang lebih dekat dengan respons optimal secara teoritis [18].

2.5 PSO (*Particle Swarm Optimization*)

Basik dari PSO berasal dari *swarm*. Dengan kata lain, yaitu kumpulan hewan yang salah satunya adalah serangga, hewan ternak, ikan dan burung. Setiap hewan ini, saling bahu membahu dalam mencari makanan. Mereka mencari makanan menggunakan pola yang didapat dari pengalaman hewan lainnya. Algoritma ini dibangun dari dua referensi. Referensi pertama yaitu dari algoritma evolusi dan referensi kedua dari *artificial life*. Sedangkan cara implementasi dalam PSO sesuai dengan kawanan hewan adalah dengan menggunakan lima pendekatan. Pendekatan pertama adalah memperkirakan seberapa jauh makanan yang bisa dibawa oleh hewan. Pendekatan kedua adalah penilaian kualitas makanan yang ditemukan. Pendekatan ketiga adalah tidak membatasi jenis makanan. Pendekatan keempat, kontrol perilaku dalam lingkungan yang berbeda. Kemudian yang terakhir adalah dapat beradaptasi dengan baik dalam lingkungan. Poin yang terakhir ini merupakan poin yang diadaptasi dari sistem kehidupan buatan. Adaptasi digambarkan dengan kemampuan kelompok hewan untuk mencari makanan. Dalam algoritma PSO disebut pergantian posisi dan *velocity*. Jumlah kandidat pada PSO, dinyatakan dengan istilah *swarm*. Pemberian *swarm* yang besar, maka akan menimbulkan variasi yang banyak. Tetapi hal ini tidak selalu berakhir baik. Kelemahan dari pemberian *swarm* adalah membutuhkan waktu yang lama. Namun, tergantung pada model yang digunakan. Dalam kasus lain, pemberian *swarm* yang besar, tidak begitu berpengaruh pada lamanya waktu [19].