UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Transient Stability Analysis of Grid Forming Inverters using Droop Control
Muhammad Hisyam, Husni Rois Ali, S.T., M.Eng., Ph.D., DIC.,SMIEEE. ; Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Pesatnya pertumbuhan energi terbarukan berbasis inverter telah secara bertahap menggeser peran generator sinkron konvensional dalam sistem tenaga modern, sehingga inersia sistem semakin berkurang dan jaringan menjadi lebih rentan terhadap gangguan besar—didefinisikan sebagai gangguan mendadak yang cukup parah sehingga respons sistem tidak dapat lagi dianalisis secara linear. *Grid-forming* (GFM) *inverter* diusulkan sebagai solusi atas permasalahan ini karena mampu membentuk referensi tegangan dan frekuensi secara mandiri tanpa bergantung pada sinyal jaringan eksternal. *Droop control* merupakan salah satu strategi GFM yang paling banyak digunakan karena implementasinya yang sederhana dan kemiripannya dengan respons frekuensi primer generator sinkron. Namun, bagaimana *inverter* GFM berbasis *droop* berperilaku saat menghadapi gangguan besar—dan apa yang menentukan batas stabilitasnya—masih menjadi pertanyaan terbuka yang belum dikaji secara analitis secara mendalam.

Penelitian ini mengkaji stabilitas transien sebuah *inverter* GFM berbasis *droop* yang terhubung ke *infinite bus* melalui filter dan impedansi jaringan. Loop kendali daya aktif *droop* disusun ulang ke dalam bentuk persamaan ayun ekuivalen, sehingga konstanta inersia ekuivalen H_d dan koefisien redaman ekuivalen D_d dapat dinyatakan secara eksplisit dalam fungsi koefisien *droop* m_p dan frekuensi *cut-off* filter f_c. Metode Equal Area Criterion (EAC) kemudian diterapkan pada dua skenario gangguan besar—kenaikan referensi daya aktif secara mendadak dan gangguan hubung singkat tiga fasa—untuk menentukan batas stabilitas secara analitis. Simulasi domain waktu di MATLAB/Simulink dilakukan untuk memvalidasi hasil EAC sekaligus mengkaji mengapa batas analitis secara konsisten lebih optimis dibanding batas stabilitas praktis, dengan selisih yang dikaitkan pada rugi-rugi resistif, dinamika filter, dan keterlambatan pengukuran daya yang tidak dimodelkan dalam formulasi EAC klasik. Studi parameter pada f_c dan m_p menunjukkan bahwa meskipun keduanya memengaruhi H_d, hanya m_p yang juga mengendalikan D_d, sehingga penurunan m_p secara serentak meningkatkan dukungan inersia dan redaman osilasi—keunggulan yang tidak dapat diperoleh hanya dengan mengatur f_c.

Kata kunci: *Grid-Forming Inverter*, *Droop Control*, Stabilitas Transien, *Equal Area Criterion*, Persamaan Ayun Ekuivalen, Waktu Pemutusan Kritis, Inersia Virtual.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Transient Stability Analysis of Grid Forming Inverters using Droop Control
Muhammad Hisyam, Husni Rois Ali, S.T., M.Eng., Ph.D., DIC.,SMIEEE. ; Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The rapid growth of inverter-based renewable energy has gradually displaced conventional synchronous generators from modern power systems, leading to a reduction in system inertia that makes the grid more vulnerable to large disturbances—defined as a sufficiently severe sudden disturbance such that the system response can no longer be analyzed linearly. Grid-forming (GFM) inverters have been proposed to address this issue, as they can autonomously establish voltage and frequency references without relying on an external grid signal. Droop control is one of the most commonly used GFM strategies due to its straightforward implementation and its resemblance to the primary frequency response of synchronous machines. However, how a droop-based GFM inverter behaves when subjected to large disturbances—and what determines its stability limits—remains an open question that has not been thoroughly examined analytically.

This study investigates the transient stability of a droop-based GFM inverter connected to an infinite bus through a filter and grid impedance. The active power droop control loop is rearranged into an equivalent swing equation form, which allows the droop equivalent inertia constant H_d and damping coefficient D_d to be expressed in terms of the droop coefficient m_p and the low-pass filter cut-off frequency f_c. The Equal Area Criterion (EAC) is then applied to two disturbance cases—sudden active power reference increase and three-phase bolted fault—to determine the analytical stability boundaries. Time-domain simulations in MATLAB/Simulink are carried out to validate the EAC results and to examine why the analytical boundary consistently overestimates the practical stability limit, with the gap attributed to resistive losses, filter dynamics, and power measurement lag that are absent in the classical EAC formulation. A parameter study on f_c and m_p shows that while both affect H_d, only m_p also controls D_d, so reducing m_p simultaneously improves inertial support and oscillation damping—an advantage that tuning f_c alone cannot provide.

Keywords : Grid-Forming Inverter, Droop Control, Transient Stability, Equal Area Criterion, Equivalent Swing Equation, Critical Clearing Time, Virtual Inertia.