

Penentuan Variabel Ekstensif Ekonomi Melalui Model Termodinamika Dengan Simulasi Statistika Fuzzy (1,1)

Ririn Setoyowati, Purnami Widyaningsih dan Sutanto
Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret

rie2n_cnt@yahoo.com, poer@uns.ac.id, dan sutanto@uns.ac.id

Abstrak

Termodinamika dan ekonomi merupakan dua fenomena yang analog. Oleh karena itu, teori dan hukum dalam termodinamika dapat diterapkan dalam ekonomi. Hal tersebut berakibat variabel di dalam ekonomi juga dibedakan menjadi dua yaitu variabel ekstensif dan variabel intensif. Selanjutnya, model termodinamika yang diterapkan dalam ekonomi adalah fungsi partisi kanonik lengkap (FPKL). FPKL yang bersifat ekstensif dan uniter memenuhi kriteria statistika fuzzy. FPKL dalam statistika fuzzy digunakan untuk menentukan nilai variabel ekstensif ekonomi berdasarkan nilai variabel intensif ekonomi. Penentuan variabel ekstensif tersebut dilakukan dengan simulasi statistika fuzzy (1,1).

Hasil dari penelitian ini adalah termodinamika dan ekonomi mempunyai hubungan yang bersifat analog. FPKL diterapkan dalam ekonomi. FPKL bersifat ekstensif dan uniter sehingga memenuhi kriteria statistika fuzzy. Dari hasil simulasi FPKL dalam ekonomi menggunakan statistika fuzzy (1,1) diperoleh bahwa nilai jumlah penawaran uang, *utility*, dan entropi berada pada kondisi tidak stabil pada saat laju peredaran uang lebih besar dari 1.8. Suku bunga lebih dari 0.6 mengakibatkan nilai jumlah penawaran uang berada pada kondisi tidak stabil, sedangkan *utility*, dan entropi berada dalam keadaan tersebut ketika suku bunga lebih dari 0.77. Nilai jumlah penawaran uang dan entropi akan bernilai konstan untuk PDB per kapita lebih besar dari 80 juta per jiwa.

Kata kunci : Ekonomi, termodinamika, fungsi partisi kanonik lengkap, statistika fuzzy.

1. PENDAHULUAN

Dinamika perkembangan ekonomi suatu negara baik makroekonomi maupun mikroekonomi menunjukkan adanya peran dari terapan matematika dalam bidang ekonomi. Perkembangan makroekonomi suatu negara ditunjukkan oleh empat indikator utama yaitu produk domestik bruto (PDB) per kapita, tingkat harga, laju peredaran uang dan suku bunga yang dikeluarkan oleh BI. Tiga indikator tersebut terkait dengan tingkat kekayaan total (*utility*), jumlah barang, jumlah penawaran uang. Sukirno[10] menjelaskan hubungan antara tingkat harga, jumlah barang, laju peredaran uang dan jumlah penawaran uang dinyatakan dalam teori kuantitas uang yang dikembangkan oleh Irving Fisher. Sedangkan teori kuantitas uang yang dikembangkan oleh Marshall ditinjau dari segi pendapatan yaitu menjelaskan keterkaitan antara laju peredaran uang, jumlah penawaran uang, laju pertumbuhan ekonomi dan PDB. Gabungan dua teori tersebut menurut Bryant[1] tiada lain adalah menggambarkan tentang teori gas ideal dalam termodinamika.

Teori gas ideal menggambarkan hubungan antara temperatur, tekanan, volume dan jumlah partikel yang terdapat di dalam suatu sistem. Sedangkan termodinamika adalah kajian dalam ilmu fisika yang mempelajari tentang seluruh aktivitas yang terjadi di dalam suatu sistem terkait dengan perubahan energi karena pengaliran panas dan kerja yang dilakukan. Dalam termodinamika terdapat dua variabel keadaan yaitu variabel ekstensif dan variabel intensif. Dalam tinjauan statistik termodinamika, hubungan dua variabel tersebut digambarkan dalam fungsi partisi kanonik lengkap (FPKL). FPKL yang memenuhi sifat ekstensif dan uniter memenuhi kriteria statistika fuzzy[8].

Menurut Yakovenko[11], kajian dalam termodinamika tersebut analog dengan kajian dalam ekonomi bahwasannya ekonomi adalah kajian yang mempelajari tentang seluruh aktivitas yang terjadi di dalam suatu sistem ekonomi suatu negara terkait dengan proses produksi dan konsumsi. Pernyataan tersebut di dukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Saslow[7] terkait dengan analogi termodinamika dalam ekonomi. Oleh karena itu, FPKL dalam termodinamika dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan variabel-variabel dalam ekonomi. Selanjutnya, statistika fuzzy digunakan untuk menentukan nilai dari variabel ekstensif dalam ekonomi karena FPKL bersifat ekstensif dan uniter dan dilakukan simulasi terhadap variabel ekstensif dengan nilai parameter yang bervariasi serta memberikan interpretasi terhadap hasil simulasi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah menjabarkan hal-hal yang bersifat analog dari termodinamika dan ekonomi, analogi besaran-besaran termodinamika dalam ekonomi, mengkonstruksi ulang FPKL dalam tinjauan ekonomi, menentukan kriteria ekstensif dan uniter dari FPKL sehingga memenuhi kriteria statistika fuzzy dan menentukan nilai dari variabel ekstensif dengan statistika fuzzy (1,1). Selanjutnya dilakukan simulasi terhadap variabel ekstensif dalam ekonomi dengan nilai parameter yang bervariasi dan memberikan interpretasi.

3. PEMBAHASAN

3.1 Analogi Termodinamika dalam Ekonomi

Menurut Sunarto dan Bambang Setiono[2], ilmu ekonomi adalah ilmu yang mempelajari tentang upaya-upaya manusia untuk memenuhi kebutuhan yang tak

terbatas. Dalam ekonomi dikaji tentang aktivitas-aktivitas ekonomi secara menyeluruh baik aktivitas produksi maupun konsumsi yang dipelajari dalam makroekonomi. Kajian tersebut juga tidak dapat lepas dari perilaku pelaku ekonomi. Kajian tersebut dipelajari dalam mikroekonomi.

Empat indikator dalam makroekonomi adalah produk domestik bruto (PDB), tingkat harga, suku bunga SBI, dan laju peredaran uang[3]. Indikator-indikator tersebut menentukan besarnya jumlah penawaran uang, jumlah barang dan kekayaan total suatu negara yang dinyatakan dalam suatu nilai *utility* (U). Keterkaitan antara jumlah barang (G) dengan jumlah penawaran uang (M) dijelaskan dalam teori kuantitas uang yang dikembangkan oleh Irving Fisher pada tahun 1990 [10] yang dinyatakan dalam persamaan $pG=vM$ dengan p adalah tingkat harga dan v adalah laju peredaran uang. Dari segi pendapatan, teori kuantitas uang yang dikembangkan oleh Marshall menjelaskan tentang hubungan antara jumlah penawaran uang dan pendapatan riil yang ditunjukkan oleh nilai PDB (Y) yang dinyatakan dalam persamaan $vM=cY$ dengan c adalah laju pertumbuhan ekonomi. Nilai PDB tak lain adalah perkalian PDB per kapita T_g dengan jumlah penduduk n . Gabungan dua teori tersebut diperoleh hubungan

$$PG = c(nT_g) \quad (3.1)$$

Menurut Bryant[1] persamaan teori kuantitas uang pada persamaan (3.1) tiada lain adalah analog dengan teori gas ideal dalam termodinamika yang dinyatakan dalam persamaan

$$PV = nKT$$

dengan T adalah temperatur, V adalah volume, P adalah tekanan dan n adalah jumlah partikel. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Saslow[7], Mimkes[5], dan Yakovenko[11] tentang analogi termodinamika dalam ekonomi. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa termodinamika dan ekonomi adalah analog.

Menurut Moran *et al.*[6], termodinamika merupakan pokok ilmu pengetahuan fisika yang terkait dengan fenomena-fenomena terkait dengan perubahan energi karena pengaliran panas dan kerja yang dilakukan. Dalam termodinamika dikenal dua variabel keadaan yaitu variabel ekstensif dan variabel intensif. Variabel ekstensif adalah variabel keadaan yang dipengaruhi oleh massa atau volume. Variabel tersebut adalah energi dalam (E), entropi (S), dan jumlah partikel N . Sedangkan variabel intensif adalah variabel keadaan yang tidak dipengaruhi oleh volume seperti T , P dan potensial kimia μ . Menurut

Meljanac[4], hubungan antara variabel ekstensif dan variabel intensif dalam statistik termodinamika baik untuk statistika Bose-Einstein maupun statistika Fermi-Dirac digambarkan dalam fungsi partisi kanonik lengkap (FPKL) yang dinyatakan dalam persamaan

$$Z = \prod_i (1 + e^{-\beta(\varepsilon_i - \mu)})^{\gamma_i}, i = 1, 2, \dots \tag{3.2}$$

dengan ε_i adalah energi pada keadaan ke- i dan asumsi bahwa tidak ada interaksi antar partikel. Jumlah partikel N dalam statistika Bose-Einstein dan statistika Fermi-Dirac secara berturut-turut didefinisikan sebagai

$$N_{Bose} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{e^{-\beta(\varepsilon_i - \mu)} - 1} \text{ dan } N_{Fermi} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{e^{-\beta(\varepsilon_i - \mu)} + 1} \tag{3.3}$$

Mengacu pada Satriawan[8], FPKL dalam persamaan (3.2) bersifat ekstensif dan uniter sehingga memenuhi kriteria statistika fuzzy. Adapun FPKL pada persamaan (3.2) dalam statistika fuzzy disajikan dalam bentuk

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_m) = \prod_{i=1}^m \prod_{k=1}^p \prod_{j=1}^q e^{\gamma x_i} \frac{1 + a_j x_i}{1 - b_k x_i} \tag{3.4}$$

Kondisi uniter dipenuhi jika $\gamma, a_j, b_k \geq 0$ dan $\sum_{j=1}^p a_j + \sum_{k=1}^q b_k + \gamma = 1$. Nilai p dan q menyatakan tipe statistika fuzzy yang selanjutnya dikenal dengan statistika fuzzy (p, q) . Statistika Bose-Einstein hanya muncul satu parameter b dan satu parameter a untuk statistika Fermi-Dirac ketika parameter lainnya nol yaitu statistika fuzzy $(p, 0)$ untuk Bose-Einstein dan $(0, q)$ untuk Fermi-Dirac. Statistika fuzzy (p, q) merupakan statistika Bose-Fermi.

Oleh karena termodinamika dan ekonomi merupakan dua hal yang analog maka FPKL dapat diterapkan dalam ekonomi dengan asumsi bahwa tidak ada interaksi antar pelaku ekonomi. Adapun analogi variabel-variabel termodinamika yang terkait dengan FPKL dalam ekonomi berdasarkan kajian-kajian yang telah dilakukan oleh Setiyowati[9] disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Analogi variabel termodinamika dalam ekonomi

Termodinamika	Ekonomi
Energi sistem (E)	<i>Utility</i> (U)
Temperatur (T)	PDB per kapita (T_g)
Entropi (S)	Entropi ekonomi (S_g)
Tekanan (P)	Tingkat harga/IHK (p)
Volume (V)	Jumlah barang (G)
Potensial kimia (μ)	Laju peredaran uang (v)
Jumlah partikel (N)	Jumlah penawaran uang (M)

Dengan demikian, ε_i pada persamaan (3.2) setelah diterapkan dalam ekonomi menyatakan besarnya *utility* pada keadaan ke- i yang selanjutnya ditotasikan dengan w_i .

3.2 Perhitungan Variabel Ekstensif

Dalam perhitungan besaran-besaran ekonomi yang merupakan variabel ekstensif seperti fungsi *utility* U , entropi S_g dan jumlah penawaran uang M yang terdapat dalam ekonomi suatu negara digunakan FPKL yang memenuhi statistika fuzzy (p,q) . Statistika fuzzy (p,q) mempunyai keunikan pada sifat FPKL yang ekstensif. Statistika tersebut dapat memberikan gambaran keadaan ekonomi berdasarkan parameter a dan b . Dalam pembahasan ini, perhitungan besaran-besaran ekonomi ditentukan hanya dengan menggunakan statistika fuzzy (1,1).

Penentuan besaran-besaran dalam ekonomi untuk statistika fuzzy (1,1) bermula dari logaritma FPKL dalam persamaan (3.4) dengan $\gamma = 0$. Logaritma FPKL dinotasikan dengan $q(T_g, G, z)$ yaitu

$$q(T_g, G, z) = \ln Z = \sum_{i=1}^m \ln(1 + ax_i) - \sum_{i=1}^m \ln(1 - bx_i) \tag{3.5}$$

dengan $x_i = e^{-\beta(w_i - w)}$ dan $\beta = \frac{1}{T_g}$ dengan T_g adalah nilai PDB per kapita serta $a+b=1$.

Selanjutnya, didefinisikan $z = e^{\beta w}$ dan $z_1 = az$ serta $z_2 = bz$ sehingga persamaan (3.5) menjadi

$$q(T_g, G, z) = \sum_{i=1}^m \ln(1 + z_1 e^{-\beta w_i}) - \sum_{i=1}^m \ln(1 - z_2 e^{-\beta w_i}). \tag{3.6}$$

Dengan menggunakan persamaan (3.3), rerata jumlah penawaran uang M adalah

$$M(T_e, G, z) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_1^{-1} g^{-\beta u_i} + 1} - \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_2^{-1} g^{-\beta u_i} - 1} \tag{3.7}$$

Untuk sistem dengan jumlah barang yang sangat besar dan $m \rightarrow \infty$ jumlahan di dalam persamaan (3.6) dan (3.7) merupakan suatu bentuk pengintegralan. Bentuk integral tersebut adalah $\int_0^\infty f(u) du$ dengan $f(u)$ diasumsikan bernilai $\frac{G}{\omega^3} u^{\frac{1}{2}}$ yang mengacu pada teori termodinamika dan $\omega \geq U$. Nilai g dalam masalah ekonomi dianggap bernilai 1. Dengan demikian, persamaan (3.6) dan (3.7) menjadi

$$q(T_e, G, z) = \frac{G}{\omega^3} \left(\int_0^\infty \frac{u^{\frac{3}{2}}}{z_1^{-1} g^{-\beta u} + 1} du - \int_0^\infty \frac{u^{\frac{3}{2}}}{z_2^{-1} g^{-\beta u} - 1} du \right), \tag{3.8}$$

dan

$$M(T_e, G, z) = \frac{G}{\omega^3} \left(\int_0^\infty \frac{u^{\frac{1}{2}}}{z_1^{-1} g^{-\beta u} + 1} du - \int_0^\infty \frac{u^{\frac{1}{2}}}{z_2^{-1} g^{-\beta u} - 1} du \right). \tag{3.9}$$

Dimisalkan $\beta u = x$. Suku pengintegralan pada persamaan (3.8) dan (3.9) tiada lain adalah dapat dituliskan sebagai $f_s(x_1) = \frac{1}{\Gamma(s)} \int_0^\infty \frac{x^{s-1}}{z_1^{-1} e^x + 1} dx$ dan $g_s(x_2) = \frac{1}{\Gamma(s)} \int_0^\infty \frac{x^{s-1}}{z_2^{-1} e^x - 1} dx$ dengan $s = 5/2$ untuksuku pengintegralan pada persamaan (3.8). Oleh karena itu, persamaan (3.8) dan (3.9) dapat ditulis

$$q(T_e, G, z) = \frac{G}{\omega^3} (f_{3/2}(x_1) - g_{3/2}(x_2))$$

dan

$$M(T_e, G, z) = \frac{G}{\omega^3} (f_{1/2}(x_1) - g_{1/2}(x_2)). \tag{3.10}$$

Setelah $q(T_e, G, z)$ dan $M(T_e, G, z)$ diperoleh, maka nilai *utility* dan entropi dapat ditentukan. Digunakan definisi bahwa $U(T_e, G, z) = - \frac{\partial \ln q(T_e, G, z)}{\partial \beta}$ diperoleh

$$U(T_e, G, z) = \frac{3M}{2\beta} \left(\frac{f_{3/2}(x_1) - g_{3/2}(x_2)}{f_{1/2}(x_1) - g_{1/2}(x_2)} \right). \tag{3.11}$$

Sedangkan nilai entropi S_e diperoleh dengan definisi bahwa $S_e = \frac{1}{T_e} (U - W_e)$ dengan $W_e = -pG + vM$. Berdasarkan persamaan (3.10) dan (3.11) diperoleh

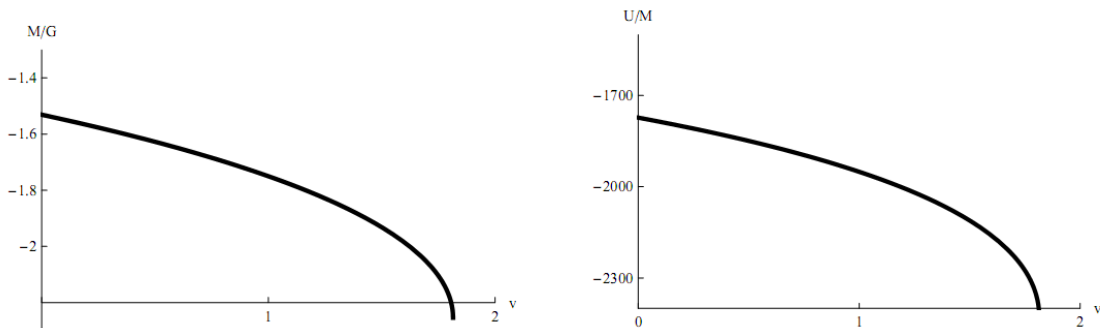
$$S_e(T_e, G, z) = \frac{5M}{2} \left(\frac{f_{3/2}(x_1) - g_{3/2}(x_2)}{f_{1/2}(x_1) - g_{1/2}(x_2)} \right). \tag{3.12}$$

Sampai disini perhitungan variabel ekstensif dalam ekonomi menggunakan statistka fuzzy (1,1) telah selesai. Selanjutnya, untuk melihat perilaku $M(T_g, G, z)$, $U(T_g, G, z)$, dan $S_g(T_g, G, z)$ dilakukan simulasi pada bagian penerapan kasus.

3.3 Simulasi Statistika Fuzzy (1,1)

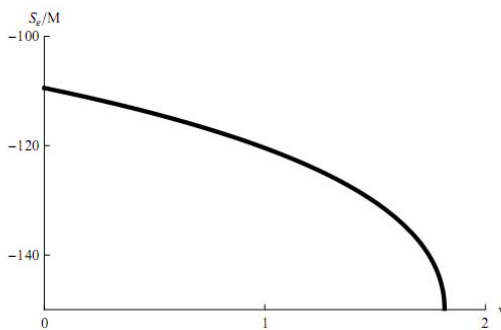
Dalam penerapan kasus ini, nilai a , v dan T_g diambil dari situs bi.go.id dan bps.go.id tahun 2010. Dari situs-situs tersebut diperoleh nilai a , v dan T_g secara berturut-turut adalah 0.065, 0.278 dan 27 juta per jiwa dengan nilai a diambil dari nilai suku bunga (BI rate). Suku bunga dipilih untuk mewakili nilai parameter a dikarenakan semua besaran-besaran ekonomi tidak lepas dari pengaruh nilai suku bunga yang ditentukan oleh BI. Oleh karena, nilai $M(T_g, G, z)$, $U(T_g, G, z)$, dan $S_g(T_g, G, z)$ dalam statistika fuzzy (1,1) ditentukan oleh 3 parameter. Simulasi dilakukan dengan nilai dua parameter yang bervariasi dan satu nilai parameter tetap. Simulasi pertama ditetapkan nilai a dan T_g tetap sedangkan v berubah-ubah.

Dengan menggunakan persamaan (3.10) dan (3.11), simulasi terhadap nilai $M(T_g, G, z)$ dan $U(T_g, G, z)$ disajikan dalam Gambar 1. Gambar 1 (kiri) menjelaskan bahwa untuk statistika fuzzy (1,1), ketika laju peredaran uang sama dengan nol, besarnya jumlah penawaran uang per satuan barang sama dengan -1.54 juta. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi negara Indonesia pada tahun 2010 mengalami defisit yang berakibat pada ketidakstabilan ekonomi. jumlah penawaran uang per satuan barang menurun dengan bertambahnya laju peredaran uang. Gambar 1 kiri menunjukkan pula bahwa jumlah penawaran uang per satuan barang menurun dengan bertambahnya laju peredaran uang. Nilai jumlah penawaran uang per satuan barang terdefinisi ketika laju peredaran uang kurang dari 1.8.



Gambar 1. Perilaku M/G (kiri) dan U/M (kanan) dalam statistika fuzzy (1,1) versus v dengan a dan T_g tetap

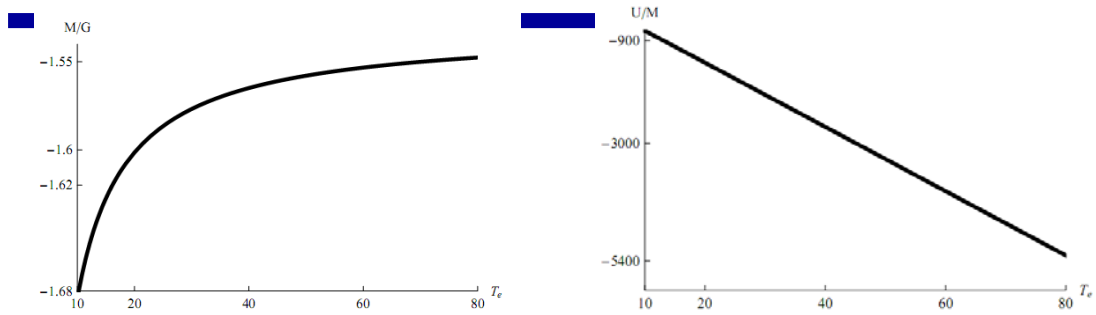
Teori kuantitas uang yang dikembangkan oleh Irving Fisher dijelaskan bahwa dalam keadaan tingkat harga dan jumlah barang yang tetap, jumlah penawaran uang menurun seiring dengan meningkatnya laju peredaran uang. Berdasarkan teori tersebut, jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) berperilaku sesuai dengan teori kuantitas uang. Sedangkan Gambar 1 kanan menjelaskan bahwa untuk nilai T_g dan a tetap, kenaikan laju peredaran uang menyebabkan penurunan nilai *utility* per satuan jumlah penawaran uang. Selain itu, nilai *utility* per satuan jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) terdefinisi untuk nilai laju peredaran uang kurang dari 1.8. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (3.12) perilaku entropi dalam ekonomi dengan nilai parameter T_g dan a tetap disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Entropi per jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) versus v dengan a dan T_g tetap.

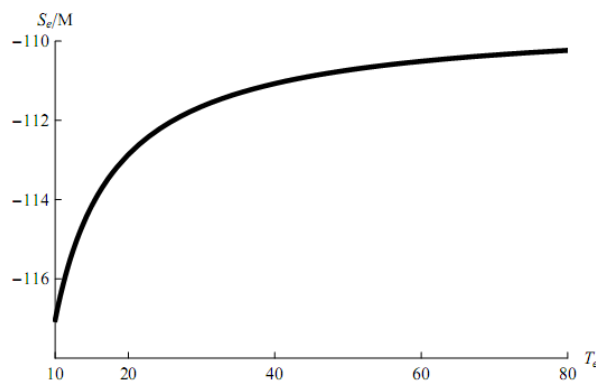
Gambar 2 menjelaskan bahwa penurunan laju peredaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) diikuti dengan penurunan nilai entropi dalam ekonomi. Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, kenaikan laju peredaran uang menyebabkan penurunan nilai *utility*, jumlah penawaran uang dan entropi.

Selanjutnya, simulasi kedua dilakukan dengan nilai parameter a dan v tetap sedangkan nilai T_g berubah-ubah. Simulasi tersebut tampak dalam Gambar 3 dan Gambar 4.



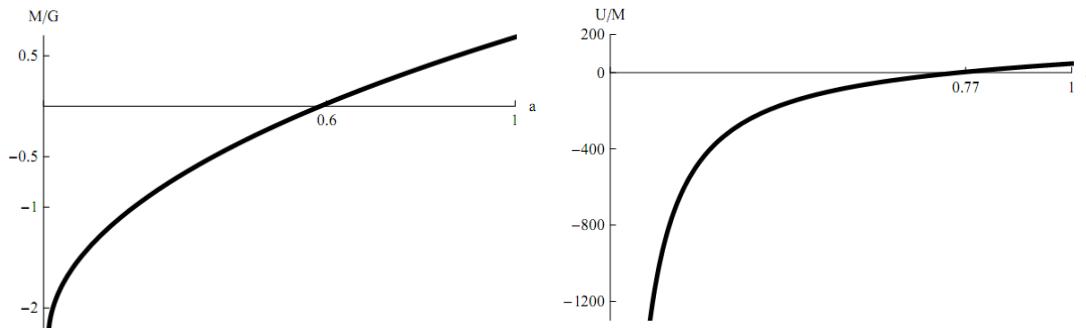
Gambar 3. Perilaku M/G (kiri) dan U/M (kanan) dalam statistika fuzzy (1,1) versus T_e dengan a dan v tetap

Gambar 3 kiri menjelaskan bahwa jumlah penawaran uang per satuan barang untuk statistika fuzzy (1,1) meningkat seiring dengan meningkatnya PDB per kapita. Gambar 3 kiri menjelaskan pula bahwa jumlah penawaran uang per satuan barang akan bernilai tetap pada nilai -1.55 juta untuk PDB per kapita lebih besar dari 80 juta per jiwa. Sedangkan Gambar 3 kanan menjelaskan bahwa kenaikan PDB per kapita menyebabkan penurunan nilai *utility* per satuan jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1). Hal tersebut berarti bahwa besarnya nilai PDB per kapita di Indonesia tidak mencerminkan kekayaan total Indonesia. Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan nilai PDB per kapita menyebabkan kenaikan nilai entropi per satuan jumlah penawaran uang.



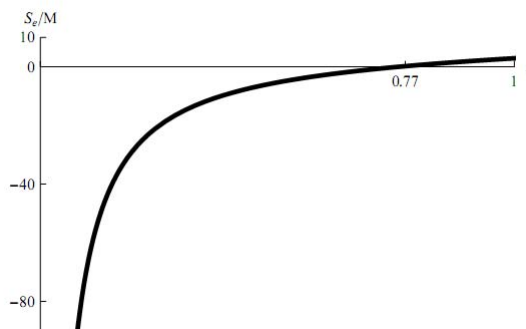
Gambar 4. Entropi per jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) versus T_e dengan a dan v tetap.

Simulasi ketiga digunakan nilai a yang berubah dan nilai parameter v dan T_g tetap. Perubahan jumlah penawaran uang per satuan barang dan *utility* per satuan jumlah penawaran uang terhadap perubahan nilai suku bunga disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Perubahan nilai M/G (kiri) dan U/M (kanan) dalam statistika fuzzy (1,1) versus a dengan a dan v tetap

Dari Gambar 5 kiri tampak bahwa kenaikan jumlah penawaran uang per satuan barang sebanding dengan kenaikan suku bunga. Selain itu, Gambar 5 kiri menjelaskan pula bahwa untuk suku bunga di atas 0.6, jumlah penawaran uang per satuan barang bernilai positif. Sedangkan Gambar 5 kanan menjelaskan bahwa kenaikan suku bunga pada statistika fuzzy (1,1) diikuti dengan kenaikan nilai *utility* per satuan jumlah penawaran uang. Nilai *utility* per satuan jumlah penawaran uang bernilai positif untuk nilai suku bunga di atas 0.77. Selanjutnya perubahan nilai entropi per jumlah penawaran uang disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Entropi per jumlah penawaran uang untuk statistika fuzzy (1,1) versus a dengan T_g dan v tetap.

Perubahan nilai entropi per jumlah penawaran uang pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kenaikan suku bunga menyebabkan kenaikan nilai entropi. Hal tersebut dapat

diartikan juga bahwa kenaikan suku bunga berakibat pada tingkat ketidakaturan ekonomi negara yang semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa termodinamika dan ekonomi adalah dua hal yang analog sehingga FPKL dalam termodinamika dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi dalam ekonomi. Sedangkan dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa untuk statistika fuzzy (1,1), nilai laju peredaran uang di atas 1.8 menyebabkan nilai jumlah penawaran uang, utility dan entropi tidak terdefinisi. yang berarti bahwa pada kondisi tersebut kondisi perekonomian Indonesia dalam keadaan tidak stabil. Suku bunga lebih dari 0.6 mengakibatkan nilai jumlah penawaran uang berada pada kondisi yang tidak stabil, sedangkan utility, dan entropi berada dalam keadaan tersebut ketika suku bunga lebih dari 0.77. Nilai jumlah penawaran uang dan entropi bernilai konstan ketika PDB per kapita lebih dari 80 juta per jiwa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bryant, J., Thermoeconomics, VOCAT International Ltd, USA, 2009.
- [2] Sunarto dan Bambang Setiono, Ekonomi makro, 3 ed., Pusdiklatwas BPKP, Bogor, 2007.
- [3] Bank Indonesia, Laporan perekonomian indonesia 2005.
- [4] Meljanac, S., M. Stojic, and D. Svrtan, Partition functions for general multi-level systems, (1996), RBI-TH-06-96.
- [5] Mimkes, J., Econophysics and sociophysics: Trends and perspectives, Willey-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2006.
- [6] Moran, M. J. and Howard N. Shapiro, Fundamental of Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc, 1992.
- [7] Saslow, W. M., An Economic Analogy to Thermodynamics, Am. J. Phys 67 (1999), no. 12, 1239–1247.
- [8] Satriawan, M. , Bose-like condensation in half-bose half-fermi statistic and in fuzzy bose-fermi statistic, Presented at the workshop on Bose Einstein Condensation (12-16 November 2007), Institute of Mathematical Sciences, National of Singapore, 2007.

-
- [9] Setiyowati, R., Analisis Ekonomi Menggunakan Model Termodinamika, Skripsi, Jurusan Matematika FMIPA UNS, 2011.
- [10] Sukirno, S., Makroekonomi teori pengantar, 3 ed., PT Raja Grafindo Persada, Jakarta, 2006.
- [11] Yakevenko, V. S. , Econophysics, Statistical Mechanic Approach to, Department of Physics, University of Maryland, Maryland, USA, 2008.