Hoferdy Zawani dan Pradono, Kajian Eksistensi Distribusi Hukum Pangkat Pada Kota-Kota Indonesia
Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, Vol. 18/No. 3 Desember 2007, hal 1- 22

KAJIAN EKSISTENSI DISTRIBUSI HUKUM PANGKAT PADA KOTA-KOTA DI INDONESIA

Hoferdy Zawani
Pradono
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota
Sekolah Arsitektur Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan
Institut Teknologi Bandung
hoferdyz@ pl.itb.ac.id

Abstract

The notion of Power-law which arguably stands for the sign of complex system has been widely encountered in many natural and social phenomenons as upon which we hypothesize Indonesian cities' size distribution would follow the same manner. To evaluate it, we test the hypothesis employing hybrid method co-joined the Cumulative Distribution Function (CDF) technique, Hill Estimator, and Anderson-Darling Statistics (Coronel-Brizio, dkk, 2003; Coronel-Brizio and Hernandez-Montoya, 2004) on Indonesian cities' population at year 1990 and 2005. As results, in one hand, our work brings quantitative sight upon Indonesian cities distribution within which were satisfied by Power-law distribution for both year 1990 (Xmin=9665 and Alpha=2,088±0,094) and year 2005 (Xmin=129490 and Alpha=1,994±0,078) while in the other hand, it strengthens the precede Power-law Indonesian cities distribution claim which previously proposed by Mulianta, dkk (2004). Put the result altogether and have it tested with deductive and simulation method as we try to explain on how the distribution could ever happen have lead us to conceive the notion of 'onslaught' urbanization in Indonesia. All and all, the work solidifies the edge of chaos paradigm in Indonesian urban and regional planning study.

Keywords: *Statistic, extreme value theory, Power-law, simulation, and urban distribution*

I. LATAR BELAKANG

Upaya eksplorasi saintifik selalu diawali dengan cara pandang kita terhadap sistem (Bertalanffy, 1969; Churchman, 1968). Saat ini muncul sebuah pandangan baru terhadap sistem. Dalam Teori *Chaos* (Schuster, 1995), teori *Cellular Automata* (Wolfram 1984a, 1984b; Langton, 1990) dan studi transisi fasa (Papon, dkk, 2006; Stanley, 1971) ditemukan bahwa adanya sebuah zona di antara *order* (teratur) dan *disorder* (tidak teratur), yaitu area Tepi *Chaos*.

Wilayah ini memiliki tingkat kompleksitas tertinggi. Di area ini terjadi fenomena brojolan (*emergence*) di level makro yang lebih dari sekedar akumulasi unit-unit penyusun sistem di level mikro; inilah yang kemudian disebut dengan Sistem Kompleks.

Di area ini ditemukan sifat hukum pangkat (*power law*). Secara empiris hal ini terlihat jelas di kondisi transisi fasa (Stanley, 1971; Yeomans, 1993; Situngkir, 2003; Newman, 2006; Papon, 2006). Sifat hukum pangkat memiliki karakter kemiripan terhadap diri sendiri (*self-similarity*) (Newman, 2006), berkaitan dengan sifat fraktal yang merupakan wajah Sistem C*haos* (Barnsley, 1993). Selain di transisi fasa material, hukum pangkat juga ditemukan di banyak fenomena alam seperti kebakaran hutan (Chen dan Bak, 2002), longsor dan gempa bumi (Turcotte dan Malamud, 2004), kepunahan makhluk hidup dalam proses evolusi (Newman, 1997), dan sebagainya. Hukum pangkat juga ditemukan dalam sistem sosial seperti distribusi pendapatan di India (Sinha, 2006), distribusi nama keluarga (Reed dan Hughes, 2003), hirarki dalam organisasi sosial (Buldyrev, dkk., 2003), distribusi kota di Amerika (Newman, 2006), korban tewas dalam konflik Ambon (Situngkir dan Khanafiah, 2007), dan lain sebagainya. Studi empirik dari lintas disiplin ilmu ini memberi pelajaran pada kita bahwa terdapat kedekatan antara sistem fisis dan sistem sosial melalui adanya Sistem Kompleks, yang terkait erat dengan sifat hukum pangkat.

Lantas, apa hubungan eksistensi hukum pangkat dengan Perencanaan Wilayah dan Kota (PWK)? PWK adalah studi tentang dunia fisik dan pelayanan publik yang bertujuan mencari bentuk prosedur pengaturan, atau campur tangan manusia, yang diharapkan dapat menjadi panduan atau pedoman sosial (Friedman, 1978; Alexander, 1992; Westley, 1995; Wachs, 1995). Artinya, muara PWK terletak pada penyelesaian masalah (*problem based*). Untuk dapat mencapai tujuan normatif tersebut, kita harus mampu menjelaskan deskripsi objek permasalahan secara utuh. Tujuan normatif tersebut sedapat mungkin harus disandarkan pada sebuah kerangka positif yang konsisten dengan karakteristik empiris PWK.

Di sini, penulis memiliki hipotesis bahwa "kota-kota di Indonesia berdistribusi hukum pangkat". Sifat ini merupakan tanda sistem kompleks. Secara teknis pertanyaan penelitian dapat dirumuskan menjadi: "apakah jumlah penduduk kota di Indonesia berdistribusi hukum pangkat?" Pertanyaan ini pernah coba dijawab oleh Mulianta, dkk (2004) menggunakan metode *fitting* CDF (*Cummulative Distribution Function*) pada data sensus penduduk kota Indonesia tahun 1961-1990. Publikasi ini memperoleh gugatan dari Moura Jr., dkk (2006) karena tidak menampilkan nilai titik potong berlakunya hukum pangkat. Dalam artikel ini, penulis bermaksud untuk berkontribusi

dalam perdebatan tersebut dengan menggunakan metode hibrid antara CDF, Estimator Hill, dan Statistik Anderson-Darling (Coronel-Brizio, dkk, 2003; Coronel-Brizio dan Hernandez-Montoya, 2004) pada data penduduk kota.

II. KONSEP DASAR POWER LAW

Permasalahan PWK berhubungan dengan manusia pada intensitas yang sangat tinggi. Di sisi lain, studi PWK juga tidak dapat dilepaskan dari deskripsi dan eksplorasi faktor fisik alam dan/atau lingkungan. Luasnya domain kerja studi PWK berpotensi menyebabkan ia rentan terhadap sejumlah perangkap saintifik. PWK sangat terpengaruh oleh perkembangan ilmu sosial klasik. Sementara itu, ilmu sosial klasik memiliki sejumlah perangkap yang berbahaya (Craib, 1992; Situngkir, 2003). Studi PWK juga rentan terhadap perangkap ilmu alam dan rekayasa. Teori dalam PWK seringkali sulit berkembang, karena senantiasa berhadapan dengan situasi rumit (Rittel dan Webber, 1973). Situasi ini menyebabkan perencana kesulitan dalam menentukan tujuan dan mendefinisikan masalah. Akibatnya, teori-teori perencanaan yang dilahirkan tidak banyak membantu dalam memecahkan masalah. Di sini, paradigma Sistem Kompleks, yang berusaha memandang sistem secara utuh, dan dalam hal ini berkaitan erat dengan distribusi *power law,* dapat dipandang sebagai kandidat alternatif paradigma sains PWK dalam menyelesaikan masalah. Sejalan dengan hipotesis penelitian yang menganggap pertumbuhan kota-kota Indonesia berperilaku secara *power law*, maka upaya untuk menganalisisnya adalah dengan menggunakan metodologi untuk menganalisis sistem kompleks, yang terutama banyak diadopsi dari tradisi fisika, khususnya bidang kajian mekanika statistik.

2.1. Distribusi Normal

Pada dasarnya *power law* adalah sebuah bentuk distribusi statistik. Untuk itu, kita akan sedikit mereview wacana yang relevan dalam teori probabilitas dalam menjelaskan distribusi ini. Dalam kajian teori probabilitas, Teorema Limit Pusat (TLP) menjamin bahwa penambahan random variabel akan mengakibatkan data konvergen menuju distribusi normal, saat variansi (elementer) berhingga. Distribusi normal dikenal memiliki PDF (*probability density function*) berikut:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2} \right), -\infty < y < +\infty \qquad (1)$$

2.2. Tinjauan Definitif *Power Law*

Secara sederhana, *power law* dapat dipahami sebagai sebuah distribusi yang dibentuk oleh PDF yang mengikuti suatu pangkat tertentu. Sesuai dengan

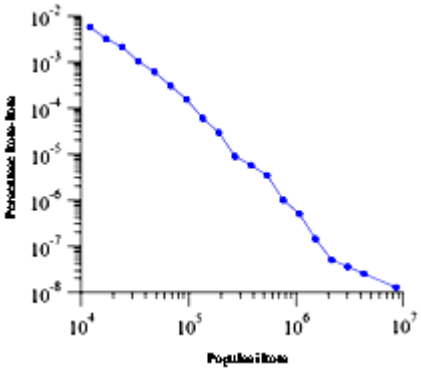
namanya yang menggunakan kata "hukum" (*law*), *power law* diformalisasi ketika eksistensinya ditemui secara empiris. Distribusi hukum pangkat memiliki PDF *(p(x))* yang digambarkan sebagai:

$$p(x) = cx^{-\alpha}; \quad x > X_{\min} \qquad (2)$$

dimana c adalah konstanta, α adalah koefisien pangkat, dan $X_{\min}$ adalah batas minimum dipenuhinya hukum pangkat. Akibatnya, terdapat hubungan linier antara $\ln x$ dan $\ln p(x)$.

$$\ln p(x) = -\alpha \ln x + c$$

Visuasilasi hubungan ini dapat kita lihat di gambar 1.



Gambar 1. PDF Logaritmik Populasi Kota-kota USA Tahun 2000
(sumber: Newman, 2006)

Dengan operasi matematika sederhana, diketahui bahwa momen ke-j konvergen saat $\alpha > (1+j)$. Artinya, saat $\alpha \leq 3$ variansi tidak bersifat konvergen (menuju tak hingga saat terjadi penambahan data). Keadaan ini tentu saja tidak memberikan kita cukup jaminan bagi eksistensi TLP karena saat distribusi ini divergen, mean dan variansi tidak terlalu berarti nilainya. Namun, perlu diperhatikan bahwa distribusi normal hanyalah satu jenis distribusi stabil (sifat distribusi tak berubah saat variabel random ditambah). Ada banyak distribusi stabil, misalnya distribusi Levy, yang nilai mutlaknya membentuk hukum pangkat (Mantegna dan Stanley, 2000).

2.3. Teori Nilai Ekstrem

Paradigma TLP memusatkan analisisnya pada fluktuasi data di sekitar rataan. Namun kenyataannya, ada banyak jenis data yang tidak berfluktuasi di sekitar rataan. Akibatnya, fungsi rataan dan variansi menjadi kabur. Lalu bagaimana kita menganalisis data yang tidak berfluktuasi di sekitar rataan? Permasalahan ini dapat diselesaikan salah satunya oleh Teori Nilai Ekstrem (EVT). Terdapat dua kelas distribusi dalam EVT yaitu *generalized extreme value distributions*

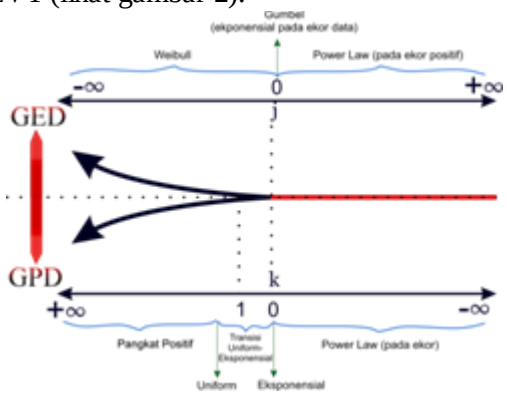
(GED) dan *generalized pareto distribution* (GPD). Pada GED *Cumulative Distribution Function* (CDF) dihitung sebagai (Alfarano, 2006):

$$\Pr(X < x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(1+\frac{|j|x}{m}\right)^{\frac{1}{|j|}}\right]; j \neq 0, m > 0 \\ \exp\left[-\exp\left(-\frac{x}{n}\right)\right] \quad ; j = 0, m > 0 \end{cases} \tag{3}$$

di mana j dan m adalah parameter skala dan bentuk. Sementara itu, CDF GPD adalah sebagai berikut (Castillo dan Hadi, 1997):

$$\Pr(X < x) = \begin{cases} 1-\left(1-\frac{kx}{n}\right)^{\frac{1}{k}}; k \neq 0, n > 0 \\ 1-\exp\left(-\frac{x}{n}\right); k = 0, n > 0 \end{cases} \tag{4}$$

di mana k adalah parameter bentuk, n adalah parameter skala, dan hanya berlaku untuk data positif ($y > 0$). Dengan menggunakan operasi kalkulus dan metode numerik sederhana, kita akan dapat mengetahui hubungan GED dan GPD dalam EVT (lihat gambar 2).



Gambar 2. Hubungan GED dan GPD dalam EVT
(sumber: hasil analisis, 2007)

Dari gambar 2, kita dapat melihat bahwa GED dengan $j \geq 0$ dan GPD dengan $k \leq 0$ memiliki karakteristik yang sama. Dari uraian sebelumnya juga diketahui bahwa GED dengan $j < 0$ dan GPD dengan $k > 0$ memiliki sifat yang sama yaitu ekor distribusi *lebih kecil* dari distribusi eksponensial. Walaupun GED dengan $j \geq 0$ dan GPD dengan $k \leq 0$ konsisten satu sama lain, namun untuk data yang selalu bernilai positif, dalam hal ini data penduduk kota, maka akan lebih tepat jika digunakan metode GPD karena:

a) GPD dirancang spesifik pada data yang selalu bernilai positif,

b) Di GPD, kita dapat mendefinisikan ekor distribusi secara eksak.

III. IDENTIFIKASI HUKUM PANGKAT

Pada bagian ini, kita akan membahas tentang teknik identifikasi data yang diduga memiliki distribusi *power law*. Teknik ini sendiri dibagi dalam beberapa konsep yang saling melengkapi.

3.1. Teknik Plot CDF

Koefisien pangkat *power law* sebaiknya tidak dicari dengan memplot langsung data di dalam PDF (gambar 1), karena nilainya akan sangat sensitif terhadap *noise* di ekor distribusi (Newman, 2006). Salah satu metode yang dapat digunakan adalah teknik plot CDF. Jika ada sebuah PDF $p(x')$, sesuai definisi di atas, maka CDF $P(x)$ akan menjadi:

$$P(x) = \int_{x}^{\infty} p(x')dx'$$

Karena $p(x) = Cx^{-\alpha}$, maka untuk $p(x')$ persamaan di atas menjadi:

$$P(x) = \int_{x}^{\infty} Cx'^{-\alpha}dx = \frac{C}{\alpha - 1}x^{-(\alpha-1)} \qquad (5)$$

Jadi, CDF $P(x)$ juga mengikuti *power law*, dengan eksponen sebesar $\alpha - 1$ atau kurang satu dari eksponen PDF *power law*. Melalui teknik CDF, kita tidak perlu memikirkan lebar kantung untuk menampung data seperti yang dilakukan pada teknik *logarithmic binning*, kita juga terhindar dari kemungkinan diperolehnya kekacauan distribusi plot data seperti yang dihasilkan oleh teknik plot PDF pada skala logaritmik (Newman, 2006).

3.2. Uji Hipotesis Menggunakan Statistik Anderson-Darling

Statistik Anderson-Darling awalnya merupakan uji seberapa jauh jarak suatu distribusi untuk masuk/keluar dari sifat kenormalannya atau disebut juga uji kenormalan (*normality test*) (Stephens, 1974), di samping tes-tes lainnya. Metode ini kemudian dimodifikasi menjadi perangkat uji statistik hukum pangkat (Coronel-Brizio, dkk., 2003; Coronel-Brizio dan Hernandez-Montoya, 2004). Dalam konteks penelitian ini, dapat didefinisikan bahwa Statistik Anderson-Darling (A^2) adalah uji statistik untuk penentuan nilai batas bawah $x_{\min}$ berlakunya distribusi *power law* pada suatu PDF. Statistik ini menguji apakah sampel $\{Y_1 < Y_2 < ... < Y_n\}$ memenuhi CDF *F* sedemikian rupa sehingga

$$A^2 = -n - S \tag{6}$$

dimana

$$S = (1/n)\sum_{i=1}^{n}(2i-1)[\log FY_{(i)} + \log(1 - Y_{(n-i+1)})]$$

Nilai A^2 yang diperoleh kemudian dibandingkan dalam tabel signifikansi model distribusi hukum pangkat yang diperoleh Coronel-Brizio, dkk.,(2003) dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo.

Dalam penelitian ini, data ukuran kota akan diurutkan dalam aturan $K = X_1 > X_2 \ldots > X_n$, kemudian dihitung nilai A^2. Sesuai dengan definisi Statistik Anderson-Darling bahwa nilai A^2 digunakan untuk menentukan batas kenormalan suatu distribusi maka prosedur yang digunakan adalah mencari nilai A^2 terkecil dari set data K. Dari sini kemudian dilakukan uji hipotesis dengan H_0 yang bernilai: "data terdistribusi power law".

3.2. Estimator Hill

Metode ini adalah perangkat untuk menghitung nilai eksponen α, sebagai parameter utama model distribusi *power law*. Dalam penelitian ini, prosedur yang digunakan dalam mengestimasi adalah Estimator Hill atau *Maximum Log-likelihood Estimator* (MLE). Dalam penelitian ini teknik *maximum likehood estimator*, yang awalnya populer dalam kajian statistika inferensi (Hogg dan Craig, 1995), dimodifikasi (Newman, 2006; Goldstein, dkk, 2004), sehingga ia dapat digunakan untuk mengestimasi eksponen α *power law*. Penghitungan eksponen alpha dilakukan dengan cara:

$$\alpha = 1 + n\left[\sum_i \ln \frac{x_i}{x_{\min}}\right]^{-1} \tag{7}$$

di mana x_i adalah set data x dari $i,...,n$ dengan $x_{\min}$ merupakan batas bawah dipatuhinya *power law*, yang nilainya sudah diketahui melalui prosedur yang dijelaskan pada bagian sebelumnya. Sementara standar error λ dihitung dengan:

$$\lambda = \sqrt{n}\left[\sum_i \ln \frac{x_i}{x_{\min}}\right]^{-1} = \frac{\alpha - 1}{\sqrt{n}} \tag{8}$$

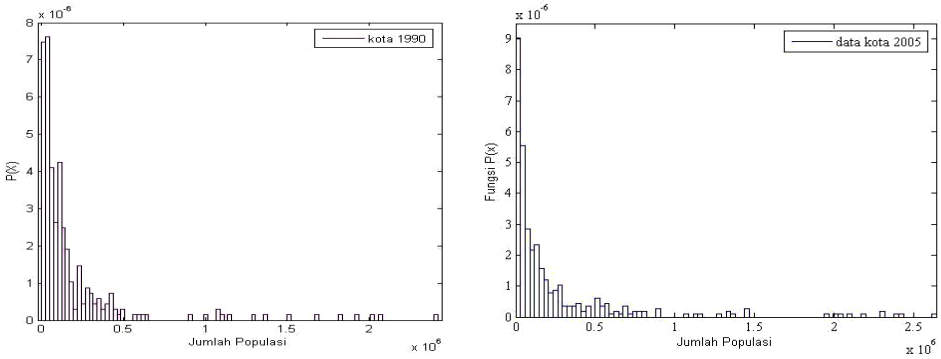
Dengan demikian maka alpha terestimasi (α_{est}) adalah $\alpha_{est} = \alpha \pm \lambda$.

IV. KARAKTERISTIK EMPIRIK POPULASI KOTA DI INDONESIA

Penelitian dilakukan pada data Survey Penduduk Nasional 1990 dan Survey Penduduk Antar Sensus 2005. Alasan pemilihan data adalah untuk melihat distribusi kota-kota Indonesia sebelum dan sesudah diberlakukannya UU No. 22 tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah.

4.1. Deskrisi Awal Sebaran Data

Pola distribusi data penduduk kota ditunjukkan dalam bentuk visual dari hubungan antara PDF dengan jumlah populasi, seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. PDF Populasi Kota Indonesia
Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan)
(Sumber: diolah dari data Sensus Penduduk 1990 dan dan Susenas, 2005)

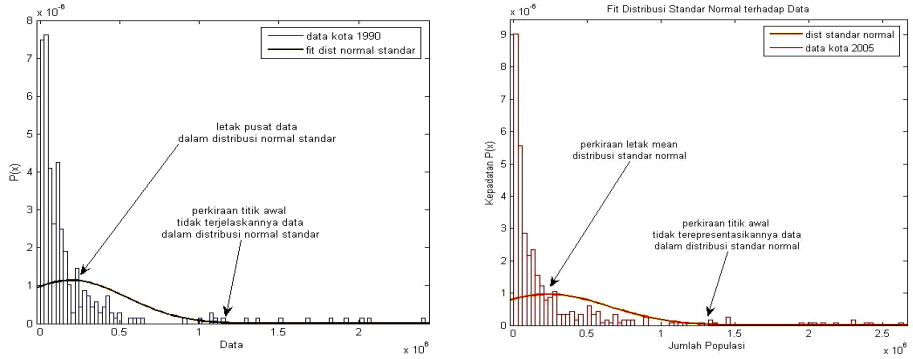
Dari gambar di atas kita menghitung momen data dengan hasil lengkapnya adalah sebagai berikut (tabel 1):

Tabel 1.
Nilai Momen Data Populasi Kota Indonesia Tahun 1990 dan 2005

No	Parameter	Tahun 1990	Tahun 2005
1	Mean (μ_X)	**193851,7**	**234109.6**
2	Standar Deviasi (σ_X)	**349008,917**	**415023.7014**
3	Skewness (S_x)	**3,801**	**3.404859**
4	Kurtosis (κ_x)	**18,845**	**15.749**

Dari tabulasi di atas kita mengetahui bahwa tipe data ini tidak dapat direpresentasikan oleh nilai rataan karena, secara visual pun kita dapat mengamati, bahwa nilai tersebut tidak berada di pusat data. Langkah selanjutnya adalah menguji secara visual keabsahan TLP terhadap data.

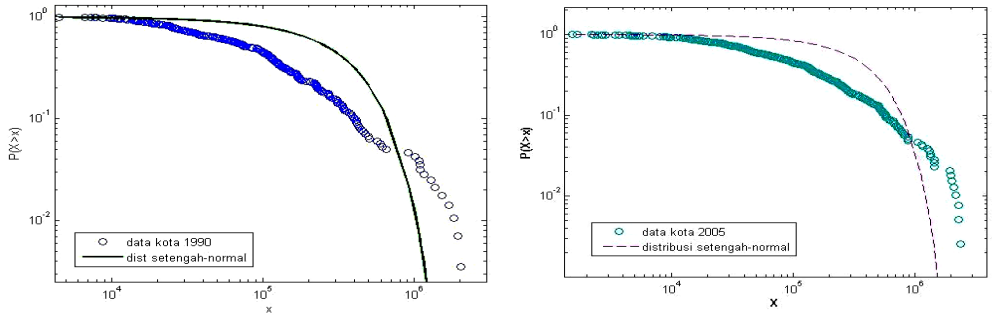
Artinya, jika data Populasi Kota Indonesia dianggap sebagai variabel random maka TLP menjamin fungi distribusi probabilitasnya menuju distribusi normal, atau dengan kata lain secara visual plot data akan tepat bersinggungan dengan plot distribusi normal.



Gambar 4. Fit Distribusi Normal Standar Data Populasi Kota Indonesia Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan)

Secara visual terlihat secara tegas bahwa distribusi normal tidak sesuai dengan perilaku distribusi data. Dari uji ini kita dapat mulai membangun dugaan bahwa data populasi kota Indonesia tahun 1990 dan tahun 2005 memiliki distribusi tertentu yang tidak dirangkum oleh TLP. Namun demikian, khusus untuk kasus data populasi kota yang tidak pernah bernilai negatif, kita masih dapat menduga data terdistribusi normal standar dengan cara sedikit memodifikasi persamaan distribusi normal menjadi distribusi setengah normal standar.

Pada uji fit ini data dianggap akan terepresentasikan oleh distribusi normal standar jika kita, misalkan, mencerminkan terlebih dahulu plot data terhadap sumbu Y positif. Dengan demikian distribusi normal standar dengan mean $\mu_X = 0$ dan variansi $\sigma_X = 1$ dapat diujikan pada plot data. Sementara itu, karena plot data hanya berada pada kuadran I koordinat kartesius maka hanya dibutuhkan setengah dari plot distribusi normal standar. Dalam uji ini juga data mulai diplot terhadap *Cumulative Distribution Function* (CDF).

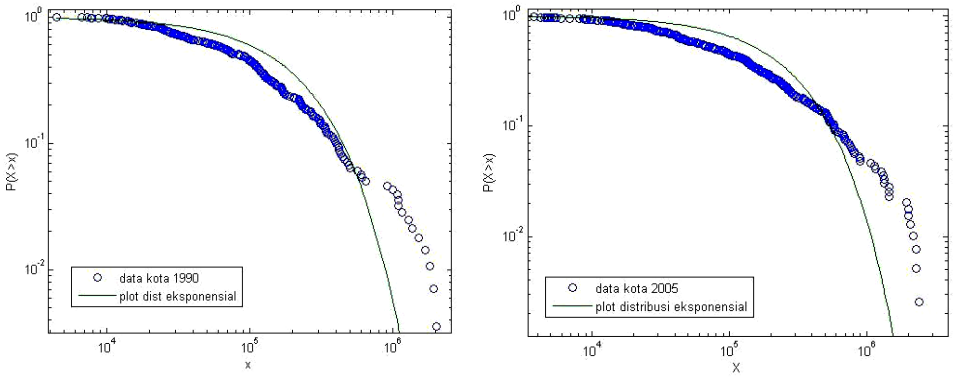


Gambar 5. Fit Distribusi Setengah-Normal Data Populasi Kota Indonesia Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan)

Dari gambar 5 kita dapat memperhatikan ketidaksesuaian yang lebih besar yang tampak lebih jelas ketika data yang sama diplot dalam bentuk CDF pada skala logaritmik. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, selain menggunakan teknik visual, juga dilakukan uji kenormalan data (dalam bentuk normal maupun dalam logaritmik) menggunakan tes Kolmogorov-Smirnov (*kstest*). Dari hasil perhitungan diketahui bahwa hipotesis yang menyebutkan "data populasi kota Indonesia tahun 1990 dan tahun 2005 berdistribusi normal standar" ditolak. Untuk itu, diperlukan pendekatan baru untuk menjelaskan karakteristik data. Fakta inilah yang menjadi dasar digunakannya Statistik Teori Nilai Ekstrem (EVT).

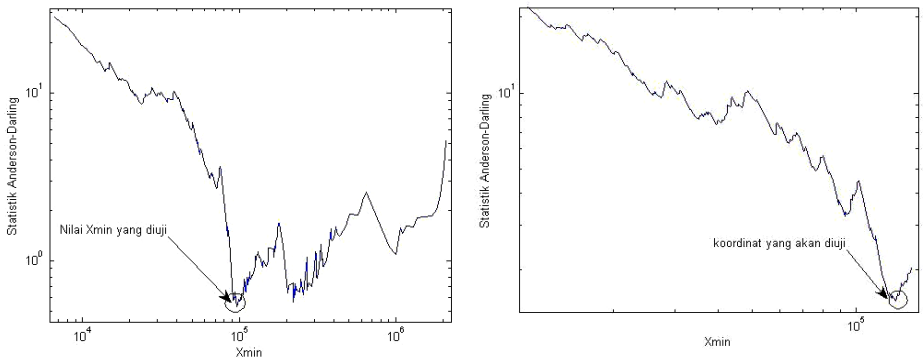
4.2. Sifat *Power Law* Dalam Data Kota Di Indonesia

Statistik EVT dalam mengidentifikasi distribusi *power law* data populasi kota Indonesia tahun 1990 dalam penelitian ini berbasis pada hasil analisis bagian sebelumnya. Secara prosedural teknik ini secara visual lebih memudahkan Peneliti untuk mengidentifikasi kemungkinan suatu data terdistribusi *power law*.



Gambar 6. Fit Data Populasi Kota Indonesia Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan) Terhadap Distribusi Eksponensial

Melalui perbandingan di atas (gambar 6) kita mengetahui bahwa pusat data dapat dijelaskan dengan baik menggunakan distribusi eksponensial. Kemudian, secara visual dapat diketahui, bahwa ekor data lebih besar dari distribusi eksponensial. Hal ini sesuai dengan EVT bahwa bagian ekor data *berdistribusi power law* (GPD dengan $k < 0$). Dengan kata lain, secara visual, kita mengetahui bahwa data memiliki potensi memenuhi hukum pangkat. Potensi ini kemudian kita eksplorasi menggunakan statistik Anderson-Darling karena selain sebagai uji kesahihan suatu model distribusi *power law*, ia juga dapat digunakan sebagai penanda batas minimum dipatuhinya *power law* (Coronel-Brizio, dkk., 2003; Coronel-Brizio dan Hernandez-Montoya, 2004). Prosedur perhitungan dalam penelitian ini direfleksikan dalam bentuk algoritma yang dirancang untuk menghasilkan antara lain: (a) nilai $X_{\min}$, (b) nilai $\alpha - 1$ di tiap fraksi data, dan (c) nilai statistik Anderson-Darling A_p^2, (d) jumlah data di ekor. Secara grafis diperoleh hasil analisis sebagai berikut:



Gambar 7. Plot $X_{\min}$ Terhadap Nilai Statistik Anderson-Darling (A^2) Data Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan)

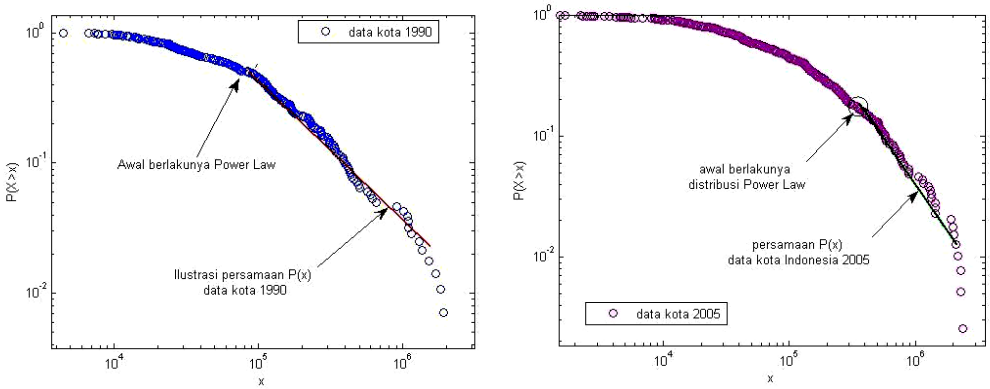
Adapun hasil perhitungan lengkap ilustrasi di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Uji Hukum Pangkat Data Populasi Kota Indonesia

Tahun	$X_{\min}$	α	λ	Anderson-Darling (A_p^2)	Jumlah Data yang dianalisis
1990	96625	2.0883	0,094	0.53082	265

2005	129490	1.9948	0,078	1.5009	275

Nilai A^2 kemudian dibandingkan dalam tabel signifikansi yang diperoleh Coronel-Brizio, dkk.,(2003) dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo yang membawa pada kesimpulan bahwa hipotesis awal yang menyebutkan "data terdistribusi *power law*", dipenuhi. Secara ilustratif, persamaan yang diperoleh dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 8. Ilustrasi CDF Model *power law* Dalam Data Populasi Kota Indonesia Tahun 1990 (kiri) dan 2005 (kanan)

V. ANALISIS

5.1. Interpretasi Hasil Perhitungan

Hasil analisis pada data kota tahun 1990 dan tahun 2005 memberikan kita nilai $X_{\min}$, batas dipatuhinya hukum pangkat, yang berbeda-beda. Apa yang terjadi pada kota-kota di bawah nilai $X_{\min}$? Kita ketahui definisi kota terkait dengan faktor *de facto* dan *de jure*. Dalam wilayah Republik Indonesia, suatu wilayah termasuk dalam klasifikasi kota jika memenuhi parameter-parameter seperti kegiatan utama bukan pertanian, kepadatan penduduk >5,000 jiwa/km2, dan memiliki 8 dari 16 fasilitas perkotaan, dll, seperti halnya yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik RI. Sementara itu, terdapat juga area yang memiliki status kota karena pertimbangan politik yang diinstusionalisasikan secara hukum. Oleh sebab itu, dimungkinkan terdapat kesenjangan antara definisi *de facto* dan *de jure*, terlebih hingga saat ini, definisi kota *de facto* masih menjadi perdebatan (Portugali, 2006).

Hasil perhitungan kuantitatif $X_{\min}$ yang dilakukan, dengan demikian, membuka peluang diskusi definisi kota *de facto* secara kuantitatif. Tentu saja

kita tidak bisa secara semena-mena menganggap $X_{\min}$ sebagai batas *de facto* kota; hal ini masih membutuhkan penelitian lebih lanjut. Namun setidaknya, dari nilai $X_{\min}$, kita memiliki sebuah arahan baru.

Mengapa tidak seluruh kota secara *de jure* memenuhi hukum pangkat? Di sini Penulis menduga, hal ini terkait dengan masih adanya pengaruh pedesaaan di kota-kota yang berpenduduk sedikit. Namun sejauh ini Penulis belum dapat membuat klaim tentang hal tersebut. Ini masih menjadi sebuah pertanyaan terbuka dalam studi PWK di Indonesia.

Pada tahun 1990 dari 282 kota secara *de jure*, 134 kota memenuhi hukum pangkat. Pada tahun 2005 terdapat 160 kota yang memuhi hukum pangkat dari 393 kota secara *de jure*. Artinya, selama 15 tahun, jumlah kota yang memenuhi hukum pangkat bertambah sebanyak 26 kota. Tren ini wajar terjadi jika kita bandingkan dengan kota-kota di Amerika, di mana dari ribuan kota yang ada, hampir seluruhnya memenuhi hukum pangkat (Newman, 2006). Penulis menduga hal ini terkait dengan transformasi struktur ekonomi masyarakat Indonesia dari agraris (yang cenderung menyebar) ke industri (yang cenderung mengelompok). Dugaan ini menarik untuk dikaji lebih jauh.

Kemudian, walaupun terjadi peningkatan secara jumlah namun di sisi lain terjadi penurunan fraksi jumlah kota yang memenuhi hukum pangkat yaitu dari 50,56% menjadi 44,07%. Penulis menduga hal ini terkait dengan peningkatan secara ekstensif jumlah kota secara *de jure* pasca pemberlakuan otonomi daerah.

Hasil perhitungan mendapatkan nilai $\alpha \approx 2$. Secara teoretis nilai alpha tersebut akan menghasilkan nilai mean yang meragukan (ketika nilai alpha < 2 nilai mean menjadi tidak berarti, namun representatif saat > 2). Bagaimanapun juga, nilai variansi pasti tidak representatif karena parameter tersebut akan menuju tak hingga (bersifat divergen) akibat penambahan data. Akibatnya, seluruh eksplorasi statistik yang melibatkan mean dan variansi menjadi lemah. Untuk itu diperlukan pendekatan baru.

Alpha sekitar dua menunjukkan eksistensi hukum 80/20 (Newman, 2006), yang awalnya ditemukan oleh Vilfredo Pareto pada distribusi kekayaan dan produktivitas. Kenyataan ini menarik karena distribusi kekayaan, penduduk, dan produktivitas ternyata memenuhi sebuah sifat spesifik dari hukum pangkat. Fenomena ini tentu menarik dicermati lebih jauh karena ketiga variabel tersebut terkait langsung dengan isu-isu dalam studi PWK.

Nilai alpha menurun tipis dari 2,0883 pada tahun 1990 ke 1,9948 pada tahun 2005. Hal ini berarti jumlah kota-kota kecil relatif menurun dan jumlah kota besar semakin meningkat. Dengan menggunakan pendekatan sederhana yaitu hanya dengan memperhatikan perubahan nilai alpha (tanpa melakukan upaya klasifikasi dinamik kota besar dan kota kecil), kita dapat menangkap pola tersebut. Dari sini muncul pertanyaan: ”mengapa terjadi peningkatan proporsi kota besar dalam 15 tahun terakhir?”. ”Apakah hal ini terkait dengan pengaruh kebijakan otonomi daerah?”. Hal ini merupakan topik menarik untuk diteliti lebih lanjut.

Akhirnya, terkait dengan perdebatan antara Moura dan Ribeiro (2006) dan Mulianta, dkk (2004), hasil perhitungan yang diperoleh dalam penelitian ini memperkuat klaim eksistensi hukum pangkat di kota-kota di Indonesia yang diajukan oleh Mulianta, dkk (2004).

5.2. Mengapa Terjadi Hukum Pangkat di Kota?

Di sini kita berusaha menjawab pertanyaan: ”mekanisme apa yang mendasari terjadinya distribusi *power law* pada kota-kota di Indonesia?”. Pertumbuhan kota adalah fenomena dinamik, akibatnya usaha eksplanasi juga harus mengakomodasi perilaku ini. Untuk itu, pendekatan penelitian sedikit diubah dari sebelumnya model statistikal menjadi metode deduktif dan simulasi. Dalam proses simulasi, Penulis berusaha menjelaskan dinamika sistem kota-kota dalam sejumlah set aturan tertentu dan membiarkan ia ”berjalan” seiring dengan waktu (Gilbert dan Troitzsch, 1999). Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan data empiris. Terdapat dua buah model yang dibahas dalam kerja ini, yaitu:

A. Model Pertumbuhan Kota Identik

Kota j di waktu t memiliki penduduk sebanyak A_t^j. Misalnya, kita notasikan laju pertumbuhan penduduk kota j di waktu t sebagai r_t^j. Jika pertumbuhan kota j di waktu t independen terhadap pertumbuhan periode sebelumnya, maka:

$$A_t^j = A_0^j\left(1+r_1^j\right)\left(1+r_2^j\right)\left(1+r_3^j\right)....\left(1+r_t^j\right) \qquad (9)$$

Sehingga diperoleh:

$$\ln A_t^j - \ln A_0^j = \ln\left(1+r_1^j\right)+\ln\left(1+r_2^j\right)+...+\ln\left(1+r_t^j\right).$$

Jika $X_i^j = \ln\left(1+r_i^j\right)$ maka:

$$\ln A_t^j - \ln A_0^j = \sum_{i=1}^{t} X_i^j \qquad (10)$$

Dengan menggunakan teorema limit pusat (Hogg dan Craig, 1995) dan operasi kalkulus sederhana kita ketahui bahwa saat pertumbuhan kota identik (rataan dan variansinya sama) maka akan didapatkan hubungan

$$p(\ln A) \approx N(\mu_X, \sigma_X^2) \quad (11)$$

Dari sini dapat kita simpulkan bahwa pada kondisi inisial apapun jika:

1. pertumbuhan setiap kota di waktu t independen terhadap pertumbuhan periode sebelumnya (independen antar-waktu), dan
2. tingkat pertumbuhan setiap kota identik (rataan dan variansinya sama),
3. maka distribusi penduduk kota akan konvergen menuju distribusi *log-normal*.

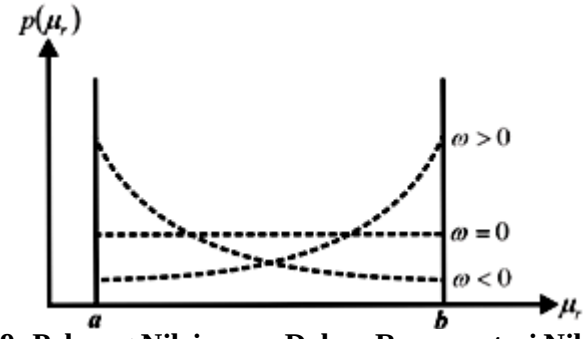
Selain itu, dari uji normalitas Kolmogorov-Smirnov pada log data (uji *log-normal*) menghasilkan hasil argumentasi yang ditolak. Hal ini sejalan dengan kenyataan bahwa kota-kota Indonesia berdistribusi *power law*. Pada prosedur di atas di mana dinamika proses pertumbuhan kota dimodelkan oleh kota-kota yang tumbuh dalam lingkungan terisolasi (tidak ada interaksi) di mana satu-satunya faktor pertumbuhan adalah faktor natural, yaitu natalitas dan mortalitas, ternyata tidak cukup untuk menjelaskan fenomena empirik yang terjadi. Untuk itu, Penulis menyiapkan analisis simulasi model pertumbuhan kota tak identik.

B. Model Pertumbuhan Kota Tak Identik

Pada kota yang tidak tumbuh secara identik faktor beda pertumbuhan tiap kota menjadi penting karena secara lebih realistis setiap kota memiliki kualitas sumber daya dan pelayanan publik yang berbeda-beda, sementara di sisi lain terdapat motif individu terkait pencapaian di berbagai bidang seperti ekonomi, sosial, dan pelayanan publik.

Simulasi pertumbuhan kota yang tak identik memiliki derajat kebebasan yang sangat besar. Model ini masih menggunakan persamaan bunga majemuk (persamaan 9). Kemudian diasumsikan laju pertumbuhan penduduk kota j di waktu t sebesar (r_t^j) terdistribusi dengan rataan μ_{r^j} dan variansi $\sigma_{r^j}^2$. Untuk penyederhanaan masalah, kita asumsikan variansi pertumbuhan kota sama. Selanjutnya, untuk memudahkan perhitungan, μ_r diasumsikan berada pada sebuah rentang tertentu yaitu $a < \mu_r < b$. Sementara PDF rata-rata pertumbuhan kota dimodelkan dengan:

$$p(\mu_r) = k \cdot \exp(\omega \cdot \mu_r) \quad (12)$$

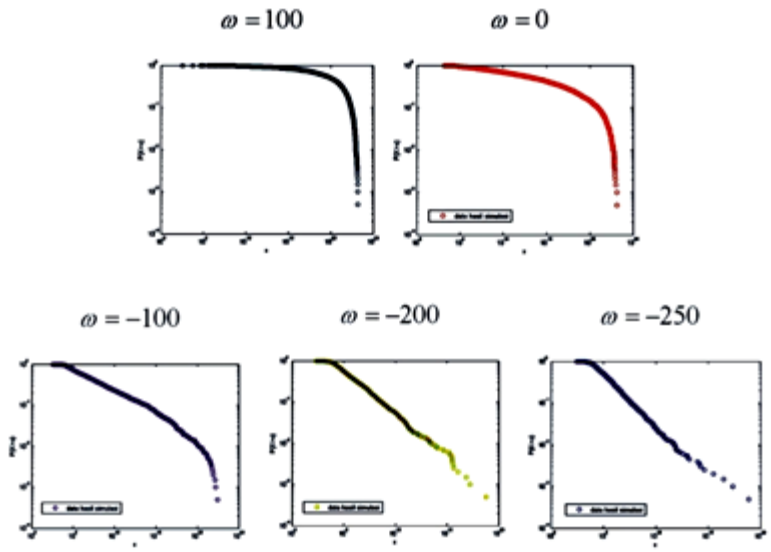


Gambar 9. Peluang Nilai m*ean* Dalam Representasi Nilai Omega

Berdasarkan persamaan 12 dan Gambar 9, konstanta *k* dapat dicari sebagai:

$$\int_a^b k \cdot \exp(\omega \cdot \mu_r) \cdot d\mu_r = 1 \qquad (13)$$

Variabel ω dibangun untuk memodelkan kesenjangan rata-rata pertumbuhan kota. Dari ketentuan di atas, kita akan melakukan simulasi dengan nilai input sebagai berikut: (1) jumlah kota inisial = 2000 kota; (2) *a* = 0,005; (3) *b*=0.05; (4) σ_r^2 = 0,0001; (5) penduduk kota inisial terdistribusi secara *uniform* dengan rentang 1 sampai 100 ($U[1,100]$). Setelah dilakukan proses iterasi untuk waktu iterasi=1000 tahun, diperoleh hasil sebagai berikut (Gambar 10):



Gambar 10. Ilustrasi CDF Simulasi Pertumbuhan Kota Tidak Identik Dengan Nilai Omega Yang Bervariasi

Pada simulasi ini, kita meng-*generate* pertumbuhan kota-kota yang terkait dengan faktor kesenjangan pertumbuhan antarkota. Selain itu, kita dapat melihat perubahan sistem secara dinamik, di mana semakin negatif nilai omega semakin memendek pula skala sumbu-x (terlihat pada plot data yang bergerak semakin ke bawah hingga mendekati sumbu-y). Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa distribusi *power law* dimulai kira-kira saat $\omega \leq -200$. Di sini kita mulai melihat peran urbanisasi, yang terejawantahkan dalam bentuk perbedaan nilai omega pada model, dalam membentuk *ouput* simulasi distribusi kota yang memenuhi *power law*. Pada proses validasi terlihat bahwa hasil simulasi *serupa* dengan plot data empiris.

5.3. Implikasi Terhadap Studi PWK

Pada simulasi di atas, kota-kota artifisial tersebut awalnya terdistribusi dengan jumlah penduduk yang seragam. Namun, akibat adanya perbedaan tingkat pertumbuhan, di mana lebih banyak kota yang memiliki tingkat pertumbuhan rendah dibandingkan dengan kota dengan tingkat pertumbuhan tinggi (omega sangat negatif) maka setelah sejumlah iterasi, distribusi kota bersifat hukum pangkat.

Kesenjangan pertumbuhan tersebut tentu terlalu naif jika hanya dijelaskan dengan faktor pertumbuhan penduduk natural. Salah satu argumentasi yang lebih masuk akal yaitu adanya faktor interaksi elemen penyusun sistem yang menjadi umpan balik positif, Penulis menggunakan makna terminologi umpan balik positif yang mengikuti Arthur (1990), dalam proses pertumbuhan kota.

Kota-kota dengan penduduk besar memiliki skala ekonomi untuk menyediakan fasilitas-fasilitas publik. Akibatnya, terjadi perpindahan penduduk, dari kota kecil dan perdesaan menuju kota-kota besar, kita biasa mengenalnya dengan urbanisasi. Umpan balik positif ini mengakibatkan kota-kota yang berukuran besar semakin besar dan yang kecil semakin kecil secara relatif. Umpan balik positif ini harus terus bertahan. Jika efek ini hilang dan tiap kota memiliki pertumbuhan natural yang sama maka sistem akan kembali kepada distribusi log-normal. Artinya, tanpa faktor urbanisasi, kota-kota akan terdistribusi log-normal.

Secara umum dapat diketahui bahwa setidaknya (karena simulasi yang terbatas pada pemodelan agregat kesenjangan kota) terdapat dua buah atraktor dalam sistem ini, yaitu:

1. *Distribusi log normal*. Sistem dengan sebaran inisial penduduk kota tertentu (dengan distribusi apapun) akan menuju distribusi tersebut jika tidak terdapat faktor urbanisasi.
2. *Hukum pangkat*. Sistem akan ditarik menuju distribusi ini jika adanya urbanisasi yang berlangsung dalam jangka panjang.

Kerja ini, dengan demikian, menekankan pentingnya evaluasi pada kajian distribusi, mengingat hal ini adalah analisis utama dalam statistik. Jika kita salah dalam mengeksplorasi distribusi data yang diamati maka akurasi analisis kita melemah. Misalnya, jika kita memiliki sebuah data dengan sebaran berdistribusi *X*, kemudian data ini kita fit dengan distribusi *Y*. Akibatnya, tentu saja, model kita menjadi tidak akurat, misalnya dalam perhitungan kuantil.

Kesalahan positif tersebut dapat berdampak fatal secara normatif. Bayangkan seandainya pemerintah hendak mengatur dana alokasi umum (DAU) tiap kota-kota yang disusun dari beragam faktor misalnya, tingkat kekayaan dan jumlah penduduk. Jika dua data tersebut dianggap log-normal (atau bahkan normal) sementara data tersebut sebenarnya bersifat hukum pangkat, maka upaya mengkonstruksi formula DAU yang adil (mencari formulasi pembagian besaran DAU dari dua variabel tersebut yang sesuai dengan kebutuhan daerah dan amanat Undang-Undang) menjadi sulit dipenuhi, karena rumusan kuantil yang dibentuk tidak akurat. Sikap kritis pada kajian distribusi hendaknya perlu mendapat perhatian lebih seksama dalam studi PWK di Indonesia.

Hasil perhitungan dalam penelitian ini, dengan demikian, memperkuat pola pikir *complex artificial environment* (Portugali, 2006), sebuah paradigma studi PWK yang didasarkan pada upaya-upaya simulasi spasial geografis berbasis sistem kompleks. Dari uraian awal penelitian ini kita ketahui bahwa hukum pangkat merupakan tanda Sistem Kompleks yang dengan sendirinya mendorong dibutuhkannya perangkat yang dapat menaklukkan sistem tersebut. Studi ini, secara kuantitatif memperkuat argumentasi tentang proses pertumbuhan kota di mana fakta kesenjangan wilayah, yang secara logis dipengaruhi oleh performansi sistem kota-kota, tidak semata-mata cukup dijelaskan dengan perbedaan faktor kualitas dan ketersediaan sumber daya alam dan manusia, namun juga sangat dipengaruhi oleh faktor interaksi antarkota.

VI. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa poin penting di antaranya adalah:

a. Pertumbuhan kota-kota di Indonesia memenuhi hukum pangkat baik pada tahun 1990 (dengan *Xmin* sebesar 9665 dan alpha sebesar 2,088±0,094) maupun tahun 2005 (dengan *Xmin* sebesar 129490 dan alpha sebesar 1,994± 0,078).

b. Hasil tersebut secara langsung memperkuat klaim eksistensi hukum pangkat pada kota-kota Indonesia yang diajukan oleh Mulianta, dkk (2004).
c. Melalui simulasi ditunjukkan bahwa hal ini disebabkan adanya faktor urbanisasi yang berlangsung secara terus menerus.
d. Eksistensi hukum pangkat dalam penelitian ini dengan demikian memperkuat posisi paradigma tepi *chaos* dalam studi PWK di Indonesia

Selain itu, perlu kita pahami bersama bahwa produksi pengetahuan menggunakan paradigma tepi *chaos* tidak serta merta menafikan pengetahuan dari studi PWK sebelumnya. Hal ini disebabkan secara alami sistem terbagi-bagi sesuai karakteristiknya masing-masing. Paradigma tepi *chaos* dapat menjadi salah satu landasan untuk menganalisis sistem yang menunjukkan perilaku sistem kompleks. Melalui perspektifnya yang khas, paradigma tepi *chaos* berpotensi membangun kembali dan/atau memperkuat badan teori perencanaan, khususnya studi-studi perencanaan wilayah dan kota di Indonesia.

VII. DAFTAR PUSTAKA

Alexander, Ernest R. (1992). *Approaches to Planning*. Gordon and Breach Science Publishers

Alfarano, Simone Dipl. Phys. (2006), *An Agent-Based Stochastic Volatility Model*, Disertasi Doktors der Wirtshaft- und Sozialwissenshaftlichen Fakult¨at der Cristian-Albrechts-Universit¨at zu Kiel, Kiel: Germany

Batty, Michael dan Torrens, Paul M., 2001, *Modeling Complexity: the Limits to Prediction*, Center for Advance Spatial Analysis, University of College London, United Kingdom, www.casa.ucl.ac.uk

Batty, Michael and Cole, Sam. (1997). Time And Space: Geographic perspectives on the future. Futures, Vol. 29, No. 415: 217-289

Batty, M., dkk. 2006. "Visualization in Spatial Modelling". dalam Complex Artificial Environment. J. Portugali, ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Batty, M. dan Torrens,Paul M. (2005). Modelling and prediction in a complex world. Futures 37 (2005) 745–766

Barnsley, Michael (1993) *Fractals Everywhere, Second Edition*, AP Professional.

Bertalanffy, L. von (1969) *General System Theory*. New York: Brazilier.

Buldyrev, S.V., dkk. (2003) "Hierarchy in Social Organization". *Physica A 330 (2003)*: 653 – 659

Castillo, Enrique dan Ali S. Hadi (1997) "Fitting the Generalized Pareto Distribution to Data", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 92, No. 440: 1609-1620

Chen, Kan dan Bak, Per. (2002) "Forest Fires and the Structure of the Universe". *Physica A 306 (2002)*: 15 – 24

Churchman, C. W. (1968), *The Systems Approach*, Dell Publishing Company, New York.

Coronel-Brizio, H. F., de la Cruz-Laso, C. R., dan Hernandez-Montoya, A. R. (2003) "Fitting the Power-law Distribution to the Mexican Stock Market Index Data", Facultad de F´ısica e Inteligencia Artificial. Universidad Veracruzana, Apdo. Xalapa, Veracruz: Me´xico. Sumber internet: http://arXiv:cond-mat/0303568 v1 27 Mar 2003, diakses bulan desember 2004.

Coronel-Brizio, H. F. dan Hernandez-Montoya, A. R., (2004) "On Fitting the Pareto-Levy Distribution to Stock Market Index Data: Selecting a Suitable Cutoff Value", Facultad de F´ısica e Inteligencia Artificial. Universidad Veracruzana, Apdo. Xalapa, Veracruz: M´exico. Sumber internet: http://arXiv:cond-mat/0411161 v1 6 Nov 2004, diakses bulan desember 2004

Craib, Ian (1992), *Modern Social Theory: From Parsons to Habermas*, 2nd edition, Harvester Wheatsheaf.

Darley, Vince. (1994), Emergent Phenomena and Complexity, in R. Brooks & P. Maes, eds, `Artificial Life IV, Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems', The MIT Press. Sumber internet dari http://www.santafe.edu/~vince/

Dempster, M. Beth L., A Self-Organizing Systems Perspective on Planning for Sustainability, 1998, Tesis Master of Environmental Studies on Planning, University of Waterloo, Ontario: Canada.

Friedmann, John (1987) *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action* . Princeton University Press

Goldstein, Michel L., dkk. 2004. "Problems with Fitting to the Power-Law Distribution". School of Electrical and Computer Engineering, Oklahoma State University. Sumber internet: http:// arXiv:cond-mat/0402322 v3 13 Aug 2004, diakses bulan Desember 2005

Gopalakrishnan, G. (2002), *Computation Engineering: Applied Automata Theory and Logic*, draft version, State University of New York, Stony Brook.

Herbert, W. (1994), *Algorithms and Complexity*, internet edition, University of Pennsylvania, Philadelphia.

Hogg, Robert dan Craig, Allen. *Introduction to Mathematical Statistics*, 1995, Prentice Hall, New Jersey: USA.

Hordijk, W. (1994) *Dynamics Emergent Computation and Evolution in Cellular Automata*, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam

Kant, Immanuel. (1781) *Critique of Pure Reason*. Diterjemahkan oleh Kingsmill Abbott, Thomas. (1952). Longsmans, Green & Co., New York and London. Dibawah Hak Cipta Internasional milik Encyclopædia Britannica, Inc.

Kuhn, Thomas S. (1970) *The Structure of Scientific Revolutions*, International Encyclopaedia of Unified Science Volume II Number 2, the University of Chicago Press: USA

Langton, C. G. (1990) "Computation at the Edge of Chaos: Phase Transitions and Emergent Computation". Physica D, 42, 12-27.

Mantegna, Rosario N., dan Stanley, H. Eugene, (2000) *An Introduction to Econophysics-Correlations and Complexity in Finance*, Cambridge University Press: UK

Mitchell, Melanie (1998) *Computation in Cellular Automata: A Selected Review*, in "Nonstandard Computation", edited by T. Gramss, S. Bornholdt, M. Gross, M. Mitchell, and T. Pellizzari, VCH Verlagsgesellschaft.

Moura Jr., Newton J. dan Ribeiro, Marcelo B. (2006) "Zipf Law for Brazilian Cities". Physica A 367 441-448

Mulianta, Ivan., Situngkir, Hokky., dan Surya, Yohanes (2004) "Power Law Signature in Indonesian Population", WPT04. Bandung Fe Institute

Newman, M. E. J., "Power laws, Pareto distributions and Zipf's law", 2006, Department of Physics and Center for the Study of Complex Systems, University of Michigan, Ann Arbor: USA. Sumber internet dari: http://arXiv:cond-mat/0412004 v3 29 May 2006, diakses bulan april 2006

Newman, M,E.J. (1997). "Evidence for Self-Organized Criticality in Evolution". Physica D 107 (1997) 293-296

Otter, H.S., A. Veen, dan HJ. de Vriend (2001) ABLOoM: Location behaviour, spatial patterns, and agent-based modelling, Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 4, no. 4.

Papon, P., J. Leblond and P.H.E. Meijer (2006). *The Physics of Phase Transitions Concepts and Applications*, Springer-Verlag.

Popper, K. R. (1959) *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London.

Portugali, Jouval, "The Scope of Complex Artificial Environments", 2006 dalam Portugali, Jouval (ed.), *Complex Artificial Environments- Simulation, Cognition, and VR in the Study and Planning of Cities*, 2006, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg: Germany

Reed, William J., dan Hughes, Barry D. (2003). "On the Distribution of Family Names". Physica A 319 579 – 590

Rittel, Horst W. J., dan Webber, Melvin M., "Dilemmas in a General Theory of Planning", 1973, Policy Sciences (4):155-169, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

Schuster, Heinz Georg. 1995. *Deterministic Chaos: An Introduction, third augmented edition*. VCH Verlagsgesselshaft mbH. Federal Republic of Germany.

Situngkir, Hokky (2003-...) "Tutorial Sosiologi Komputasional". Dept. Comp. Soc. Bandung Fe Institute. Sumber internet: http://www.bandungfe.net, diakses bulan Desember 2005

Sinha, Sitabhra. (2006). "Evidence for Power-law Tail of the Wealth Distribution in India". Physica A 359 555–562

Situngkir dan Khanafiah, 2007. "Bird's Eye View to Indonesian Mass Conflict". WPG07. Bandung Fe Institute.

Stanley, Eugene. 1971. *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*. Oxford University Press.

Stephens, M.A., "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons", 1974, Journal of the American Statistical Association 69: 730-737

Turcotte, D. dan B. Malamud (2004). "Landslides, Forest Fires, and Earthquakes:
Examples of Self-organized Critical Behavior", *Physica A* 340 (2004) 580 – 589

Wachs, M. (1995). Foreword in Planning Ethics: A Reader in Planning Theory, Practice and Education, S. Hendler, ed., Center for Urban Policy Research

Weinberg, Gerald M., (2001) *An Introduction to General System Thinking*, Dorset House Publishing Co. Inc., New York: USA

Westley, F. (1995). Governing Design: The Management of Social Systems and Ecosystems Management in *Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions* Gunderson, L. H., C. S. Holling and S. S. Light, eds., Columbia University Press

Wolfram, Stephen. (1984a). "Universality and Complexity in Cellular Automata". *Physica D 10 1984*: 1-35.

Wolfram, Stephen. (1984b) Computation Theory of Cellular Automata, *Communications in Mathematical Physics 96 1984*: 15-57.

Yeomans, J.M., (1993) *Statistical Mechanics of Phase Transitions*. Oxford University Press.