

Sukatan Keterlestarian Ilmu Menerusi Entropi Shannon

Shaharir B.M.Z.¹ & Syamil B.A.S²

Abstract

We argue that the Shannon entropy in the information theory which has also been used in measuring ecological diversity (animal and plant diversities) in a particular chosen area and simultaneously measuring the level of environmental sustainability of the area can be extended to a measuring of knowledge sustainability. This is done by interpreting subfields of knowledge as species of a field of knowledge analogous to the plant or animal species. The presence of a subfield of knowledge is measured through the number of publications in the subfield. A set of data consists of a list of publications in the field of mathematical sciences at INSPEM, Universiti Pertanian Malaysia in 2007 was taken to be a sample (plot). The study shows that the field of mathematical sciences at the university is not sustainable. The result is discussed.

Keywords: sustainability, environmental sustainability, knowledge sustainability, sustainability index, Shannon entropy, information theory

Abstrak

Kami berhujah bahawa entropi Shanon dalam teori maklumat yang selama ini dipakai untuk menyukat tahap kepelbagaian ekologi (kepelbagaian haiwan dan tumbuhan) dalam sesuatu kawasan dan sekaligus menyukat tahap keterlestarian alam sekitar kawasan tersebut kini dapat diperluaskan kepada penyukat keterlestarian ilmu. Ini dilakukan dengan mentafsirkan subbidang ilmu sebagai spesies ilmu dan kehadiran subbidang ilmu itu disukat menerusi penerbitan di dalam bidang tersebut. Data penerbitan sains matematik di INSPEM UPM dalam tahun 2007 dijadikan satu sampel kajian. Kajian menunjukkan bidang ilmu ini tidak terlestarian. Hasil ini dibincangkan.

Kata kunci: Keterlestarian, keterlestarian lingkungan, keterlestarian ilmu, indeks keterlestarian, entropi Shannon, teori maklumat

1. Pendahuluan

Sejak Keterlestarian diperkenalkan (dalam ekonomi dan pembangunan) pelbagai indeks tahap keterlestarian diperkenalkan dari aspek ekonomi dan pembangunan secara amnya atau sektor yang berhubung dengannya terutamanya lingkungan (alam sekitar) atau yang lebih khusus lagi tentang kepelbagaian spesies flora dan fauna. Dalam hal sukatan keterlestarian pembangunan ekonomi, kaedah mutakhirnya ialah oleh Hamilton dan kumpulannya dalam alaf ini seperti yang dapat ditelaah di dalam Hamilton (2010) yang menilai keterlestarian ekonomi sesebuah negara menerusi kekayaan negara berkenaan (dengan konsep kekayaan yang baharu) dan simpanan sebenar. Hasil terbaik yang dicapai oleh kumpulan ini ialah karya Hamilton dan Withagen (2007) yang mendapati hubungan utiliti U dengan simpanan sebenar S ialah

$$U' = \lambda S(r-S'/S)$$

¹ Pusat Dialog Peradaban, Universiti Malaya, Kuala Lumpur 50603. riramzain@yahoo.com, Tel: +6 0122361967.

²Universiti Sains Islam Malaysia (USIM), Nilai 71800, Negeri Sembilan, Malaysia. syamilshakir@gmail.com

Ini menghasilkan petua keterlestarian Hamilton-Withagen bahawa di dalam ekonomi berpersaingan, sebuah dasar yang menjamin $S > 0$ dan $S'/S < r$ pada setiap masa kelak itulah yang akan memastikan keterlestarian ekonomi tersebut. Tiadalah sarjana, termasuk Hamilton ini, yang membuktikan model ini menjamin keterlestarian atau sebaliknya mana-mana negara termasuk Negara Maju sekarang.

Arrow drk. (2010) memperluaskan lagi konsep kekayaan Hamilton, diberi namanya, kekayaan komprehensif, yang merangkumi aset terpasas dan tak terpasas (galian, hutan, tanah, modal insan, modal terhasikan semula, modal alam sekitar dan pelaburan); dan metakrifkan keterlestarian sebagai peningkatan kekayaan ini sepanjang masa berasaskan per kapita. Hasil kajian beliau mengejutkan kerana berkesimpulan ekonomi US dan China terlestarian; sedangkan kedua-dua negara ini terkenal dengan masalah penggunaan sumber yang selama ini dianggap oleh ramai pihak dan sarjana sebagai tidak mungkin terlestarian, dan masalah lingkungan yang buruk, terutamanya China. Oleh itu model keterlestarian Arrow drk. (2010) ini boleh dianggap tidaklah relevan dengan situasi sekarang.

Kaedah lain dalam penentuan tahap keterlestarian ialah menerusi pengoptimuman pengurusan perkara yang berkenaan, iaitu melihat sejauh mana berbezanya kehadiran benda yang dikaji itu tersisih daripada keadaan optimumnya. Andaiannya, ialah keadaan optimum itulah keadaan keterlestarian. Kaedah ini dimulai dalam ekonomi yang sorotan mutakhirnya dilakukan oleh Shaharir(2012a) yang menghasilkan kesimpulan bahawa kajian keterlestarian berasaskan pengoptimuman akan tersasar kerana konsep optimum itu sendiri bertentangan dengan keterlestarian lalu beliau mengesyorkan konsep ini digantikan dengan semacam konsep pertengahan dan keadilan yang diistilahkan sebagai **wusta** lalu program pengoptimuman perlulah diganti dengan **pewustaan** (matematik pengoptimuman digantikan dengan matematik **pewustaannya** yang baharu dibangunkannya sendiri). Pandangan Hamilton (2010) tentang "sering tidak serasinya keoptimuman dengan keterlestarian" tidak disebut di dalam Shaharir (2012a) kerana hujah Hamilton itu tidaklah mengkritik konsep pengoptimuman tetapi kepada tersasarnya kuantiti yang dianggap berhubung dengan keterlestarian selama ini lalu beliau mengesyorkan program baharunya yang disebut di atas. Namun kaedah keterlestarian berasaskan pengoptimuman dalam semua bidang memanglah masih galak diteruskan menjangkau karya-karya yang dibicarakan di dalam Shaharir(2012a, 2014) itu dan bukti tambahannya dipersaksikan oleh makalah-makalah yang tertinggal disebut dalam dua makalah itu seperti Zefereno drk. (2010), Dobson drk. (2011), dan Syarikat Ricoh (EFQM 2011); dan melangkau tarikhnya pasca-2011 hingga kini seperti karya Tabaro drk (2012), Wang drk (2013), Kannegiesser dan Gunther (2014) dan Wang drk (2014).

Tahap keterlestarian lingkungan (alam sekitar) disukat dengan pelbagai kaedah yang lain lagi seperti yang dihuraikan oleh Bell dan Morse (2008). Antara yang agak popular di kalangan ahli alam sekitar ialah kaedah entropi Shanon yang asalnya dicipta untuk menyukat tahap penyebaran atau keclaruan maklumat oleh Shannon dalam tahun 1948-49 dahulu (Shannon 1948, Shannon dan Weaver 1949), menerusi kuantiti yang dinamai etropi yang diperolehnya sebagai rumus

$$H = - \sum_{k=1}^s p_k \text{Log}_a p_k \quad (1)$$

dengan p_k mewakili (asalnya) kebarangkalian pemboleh ubah diskret X , iaitu yang nilainya $\{x_1, x_2, \dots, x_s\}$ = set semua utusan, $p_i = \text{Kb}(X = x_i)$ dan H memberi nilai jangkakan maklumat yang terkandung di dalam utusan yang diminati. (asas logaritma a itu biasanya 2, 10 atau e , yang menjadikan nama unit masing-masingnya sebagai bit (daripada *binary digit*), desit atau ternit (masing-masingnya daripada *decimal digit* atau *ternary digit*), dan nat (daripada *natural digit*); tetapi di dalam makalah ini kami mengambil $a = e$). H mengambil nilai maksimum apabila $p_i = 1/s$ (oleh itu, entropi maksimum, H_{maks} = $\text{Ln}(s)$, iaitu ketika setiap utusan daripada ruang utusan itu berkebarangkalian sama, atau setaranya, ketika keadaan paling tak boleh diramalkan. Nilai minimum H , H_{mini} = $\text{Ln}(t/(t-s))$, berlaku apabila t cukup besarnya berbanding dengan s (Fager 1972) yang memang menghampiri kosong. Oleh sebab nilai maksimum H bergantung kepada bilangan spesies maka indeks Shannon ini tidak sesuai untuk perbandingan kecuali dinormalkan dahulu seperti $E = H/H_{\text{maks}}$ tetapi yang lebih terkenalnya ialah $F = e^H$ yang ditafsirkan sebagai benar-benar mewakili kepelbagaian spesies (Jost 2006).

Apabila maklumat dipadankan dengan keadaan ekologi dengan menganalogikan utusan dengan kepelbagaian spesies fauna atau flora, maka rumus (1) di atas dinamai semula sebagai indeks kepelbagaian Shannon, atau nama lain yang agak popular juga terutamanya dalam bidang komunikasi atau maklumat, indeks Shannon-Wiener, sempena Wiener yang juga menerbitkan rumus entropi ini dalam tahun yang sama dengan Shannon (1948) secara berasingan; atau indeks Shannon-Weaver kerana kedua-duanya pengarang bersama buku pertama teori komunikasi dalam tahun 1949 (Shannon dan Weaver 1949).

Namun di sini kami merujuknya hanya sebagai indeks Shannon sahaja. Di dalam bidang ekologi dan alam sekitar, p_i dalam rumus (1) itu ditafsirkan menjadi kebarangkalian memperoleh spesies i dalam plot yang dikaji yang dianggap sama dengan perkadaran kehadiran spesies i berbanding dengan jumlah spesies semuanya, s itu. Entropi Shannon (indeks Shannon dsbnya itu sekarang) mewakili jangkaan ketakpastian dalam meramal identiti spesies daripada individu yang diambil secara rambang daripada set data. Indeks ini bukan sahaja popular di dalam sains alam sekitar tetapi juga di dalam sains sosial yang membicarakan kepelbagaian kegiatan ekonomi, etnik, budaya dan sebagainya sehingga banyaklah karya dalam dalam bidang ini sejak 1980-an; kajian pertamanya oleh Attaran (1986), dan kajian komprehensif terbaharu ialah oleh Nettle drk. (2007) dan Oxford Economics (2012) .

Penerbitan tentang penggunaan entropi Shannon dalam ekologi cukup banyak bermula dengan Pielou (1966) tetapi nampaknya menjadi meluas penggunaannya selepas Pielou (1975) dan lebih-lebih lagi selepas Magurran (1988). Apa pun kami dapati ada tiga jenis tulisan tentang penerapan indeks Shannon ini. Satunya menggunakan indeks ini untuk beberapa ketika dalam kawasan yang sama bagi meninjau perubahan indeks ini dalam tempoh berkenaan itu akibat perubahan alam sekitar secara tabii atau sengaja diubahnya dan mencari faktor-faktor perubahan spesies fauna atau flora itu menerusi regresi atau kaedah statistik lain (pengujian hipotesis). Contoh kajian sebegini dalam alaf ini ialah oleh Scholz dan Xu (2002), Wu dan Legg (2011), dan Li drk. (2008). Jenis kajian keduanya ialah menyukat indeks ini mengikut kawasan yang berbeza untuk mengetahui tahap kepelbagaian di setiap kawasan itu agar dapat disah faktor perbezaan kepelbagaian itu menggunakan statistik seperti jenis kajian yang pertama di atas. Contoh terawal kajian sebegini ialah oleh Porter (1972). Kajian sebegini juga bertujuan untuk mengelaskan jenis kawasan kepelbagaian spesies bagi tujuan pengurusan yang berbeza kawasan berkenaan itu seperti karya pemulanya oleh Rafael drk. (2009) bagi tujuan pengurusan keterlestarian perhutanan. Jenis kajian ketiga ialah mengkaji kepelbagaian ekologi menerusi indeks Shannon berbanding dengan indeks lain dengan tujuan mendapatkan gambaran kepelbagaian spesies menerusi pelbagai indeks itu dan mungkin memperakukan indeks yang lebih baik antaranya seperti oleh Hill drk. (2003) dan Hayat drk. (2010)

Dalam semua jenis karya yang tersebut di atas tiadalah perbincangan yang jelas tentang implikasi nilai entropi ini dalam perkara-perkara berikut:

1. Apakah julat nilai entropi yang menggembirakan pengkaji atau komuniti ahli sains alam sekitar?
2. Apakah julat etropi yang membahayakan alam sekitar?
3. Apakah kelemahan ketaranya kaedah entropi ini dalam hubungannya terhadap keterlestarian?

Apa pun, oleh sebab nilai maksimum entropi Shannon ialah $\ln(s)$ maka sepatutnya kita bersetuju nilai entropi ini dalam selang

$$\ln(s) - r \leq H \leq \ln(s) + r$$

dengan r diambil sama dengan 10% drp entropi maksimum, iaitu

$$r = \ln(s)/10$$

Walaupun kini ilmu dan ekonomi sudah tidak terpisahkan, malah sudah ada bidang ekonomi-ilmu, ringkasnya ekonomi-i (Inggerisnya: *k-economy*), namun isu keterlestarian ilmu boleh dikatakan belum menjadi ilmu yang menarik perhatian sarjana sebagaimana yang telah dibicarakan oleh Shaharir(2012a, 2012b)sehingga mendorongnya mentakrif keterlestarian yang mengambil kirailmu itu. Tidak hairanlah indeks keterlestarian ilmu masih belum diutarakan. Kajian turun-naik atau muncul-lesapnya ilmu yang dibicarakan oleh Shaharir(2012c,2013) memang banyak membayangkan faktor-faktor yang patut menjadi indeks keterlestarian ilmu tetapi ini akan dibicarakan kemudian. Abhary drk. (2009) juga menarik diambil perhatian dalam membina indeks ketrelestarian ilmu kerana mereka ini mengkritik golongan yang percaya kepada peranan pengkomputeran dalam keterlestarian ilmu, walaupun imbauan mereka supaya menilai semula takrif ilmu akibat ulasannya itu tidaklah perlu disambut dengan seriusnya.

2. Keterlestarian Sains matematik di Malaysia

Kami menggunakan rumus entropi Shannon, persamaan (1), ($\log = \log_e$), untuk mendapatkan status keterlestarian ilmu di Malaysia, khususnya sains matematik. Untuk ini kami pilih data di INSPEM, Universiti Putera Malaysia (UPM) kerana (selain daripada di situ ada senarai penerbitan yang agak lengkap telah sedia ada) di sinilah pusat kegiatan dan kesuburan bidang sains matematik di Malaysia. Keterlestariannya boleh mewakili keterlestarian bidang ilmu ini di Malaysia. Berikut ialah hasil pengiraannya.

Bidang	Bilangan	Entropi
Aljabar	5	0.088
Analisis/Kaedah Berangka	20	0.222
Analisis Matematik	1	0.025
Biologi matematik/Biomate	6	0.101
Geometri/Manifold	1	0.025
Matematik fizik	1	0.025
Matematik/Statistik industr	46	0.331
Matematik kewangan	9	0.134
Matematik lingkungan	3	0.060
Pendidikan sains matematik	23	0.240
PTS/PDE	2	0.288
Sains komputer/maklumat	25	0.251
Sains matematik kelslaman/	16	0.194
Sistem dinamik	3	0.060
Statistik	29	0.271
Teori graf	8	0.123
Teori nombor	8	0.123
Tulisan popular	1	0.025
Lain-lain(bukan sains mater	6	0.101
Jumlah	213	2.687

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Entropi} &= 2.687 \\ \text{Entropi Maksimum} &= \log 19 = 2.944 \\ \text{Penormalan} &= 0.913 \end{aligned}$$

3. Perbincangan

Di dalam kajian alam sekitar, indeks Shannon ini dipersetujui menyukat kekayaan dan kesebaran bilangan spesies yang dikaji pada sesuatu tempat (sampel). Ada pihak lain lagi yang tidak bersetuju dengan tafsiran ini tetapi menggantikannya dengan tafsiran kepelbagaian, iaitu indeks Shannon melambangkan kepelbagaian spesies. Malah disyorkan nilai kepelbagaian itu disukat menerusi eksponen indeks Shannon itu (iaitu e^H) seperti yang dibicarakan oleh Tuomisto (2010, 2012) yang juga memperkenalkan beberapa konsep kepelbagaian yang lain lagi yang semuanya bergantung pada indeks Shannon H ini juga. Dalam konteks sukatan ilmu, tafsiran yang sepadannya, kami kira, ialah kekayaan dan kesebaran bilangan bidang ilmu yang ada pada sesuatu tempat yang dikaji; atau kepelbagaian bidang ilmu. Indeks Shannon yang kecil, segi alam sekitarnya, melambangkan kawasan kajian itu didominasi oleh bilangan spesies yang kecil; yang menunjukkan kawasan itu menghadapi kepupusan spesiesnya. Analogi dengan bidang ilmu, tempat yang dikaji itu didominasi oleh sedikit bilangan bidangnya; yang menunjukkan tempat itu berpotensi berlakunya kepupusan ilmu. Indeks Shannon yang tinggi ditafsirkan juga sebagai menunjukkan kepelbagaian spesies (bidang ilmu) yang banyak dan oleh itu kurangnya persaingan antara spesies (bidang ilmu). Indeks Shannon yang rendah menjadi sebaliknya, iaitu persaingan spesies yang hebat sehingga menurunkan bilangan spesies (bidang ilmu) yang bermandiri atau terlestarian.

Yang menjadi persoalannya dalam kajian alam sekitar, oleh itu dalam kajian ilmu juga, ialah berapakah nilai indeks ini yang bagus atau yang buruknya. Yang agak dipersetujui umum di kalangan para pengkaji alam sekitar yang menggunakan indeks ini, nilai yang bagus ialah yang melebihi 3. (Al-Dawood 2013); nilai di sekitar 2.8 dianggap aras madya atau wusta (Pir drk. 2013).

Berdasarkan pada persetujuan ini, oleh sebab indeks Shannon ilmu di INSPEM, UPM itu ialah sekitar 2.7 sahaja, maka bolehlah dibuat kesimpulan bahawa keterlestarian ilmu di Institut penyelidikan itu berada di bawah aras wusta atau madya, iaitu dalam bahaya menuju kepupusan.

Walau bagaimanapun, kami merasakan sampel di INSPEM itu tidak dapat mewakili di institusi-institusi lain kerana yang diambil kira di Institut ini ialah semuanya sarjana yang berkarya di situ sahaja; tiada sarjana yang tidak berkarya di institut ini. Di institusi lain, hal sebegini tidak berlaku lagi; malah ada seperatusan sarjana dalam sesuatu bidang itu tidak berkarya dalam sesuatu tahun yang kaji. Jelaslah takrif bidang ilmu yang hanya berdasar kepada penerbitan sahaja tanpa perkiraan jumlah sarjana dalam bidang itu (seperti yang dilakukan di sini) menjadikan indeks ini kurang tepat perwakilannya. Dijangkakan, jika makna bidang ilmu itu diambil kira juga bilangan sarjana dalam bidang itu, maka indeks Shannonna akan menurun lagi yang menandakan keterlestarian ilmu di Malaysia ini dalam keadaan yang kritis lagi. Suatu yang menarik juga tentang data spesies ilmu di INSPEM itu ialah betapaanya nilai indeks Shannon maksimumnya pun tidak mencapai 3 (hanya sekitar 2.9), nilai yang dianggap di ambang yang bagus itu. Dengan kelemahan rangkuman indeks Shannon ini maka hasil ini tidaklah juga meyakinkan bayak pihak. Oleh itu indeks Shannon memang perlu diperbaiki lagi, atau sebuah indeks yang baharu sama sekali perlulah diformulasikan.

4. Penghargaan

Kami berterima kasih kepada Universiti Malaya yang menunjangi penyelidikan "Keterlestarian Ilmu" ini sepenuhnya menerusi gran penyelidikan UMRG: RG185-12 SUS.

Rujukan

- Abhary, K., Adriansen, H.K., Begovac, F., Djukic, D., Qin, B., Spuzic, S., Wood, D. & Xing, K. (2009). Some basic aspects of knowledge. *Procedia and Behavioural Science*, 1, 1753-1758
- Al-Dawood, Thamer, (2013), [Dlm talian]. Ada dlm: http://www.Researchgate.net/post/If_I_obtain_theShannon-wiener (Julai 5, 2014)
- Arrow, K.J., Dasgupta, P., Goulder, L.H., Mumford, K. & Oleson, K. (2010). China, the US, and sustainability: Perspectives based on comprehensive wealth. In G.Heal (Ed.), *Is Economic Growth Sustainable?* (pp. 92-144). Palgrave Macmillan.
- Attaran, M. (1986). Industrial Diversity and Economic Performance in U.S. Areas. *Annals of Regional Science*, 20(2), 44-55.
- Bell, S. & Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators. Measuring the Immeasurable?* 2nd ed. London: Earthscan.
- Dobson, R. J., Hosking, B.C., Besier, R.B., Love, S., Larsen, J.W.A., Rolfe, P.F. & Bailey, J.N. (2011). Minimising the development of anthelmintic resistance, and optimising the use of the novel anthelmintic monepantel, for the sustainable control of nematode parasites in Australian sheep grazing systems. *Australian Veterinary Journal*, 89(5), 160-166.
- EFQM – Rich Europe. (2011). *Ricoh's Sustainability Optimization Programme*. Kindle Ed.
- Fager, E.W. (1972). Diversity: a sampling study. *American Naturalist*, 106, 293-310
- Hamilton, K. 2010. Wealth, saving and sustainability. In G. Heal (Ed.). *Is Economic Growth Sustainable?* (pp. 76-91). Palgrave Macmillan.
- Hamilton, K. & Withagen, C. (2007). Savings growth and the path of utility. *Canadian Journal of Economics*, 40(2), 703-713
- Hayat, A.M.S., Kamziah, A.K., Faridah-hanum, I., Awang Noor, A.G. & Nazre, M. (2010). Assessment of plant species diversity at Pasir Tengkorak Forest Reserve, Langkawi Island, Malaysia. *Journal of Agricultural Science*, 2(1), 31-38.
- Hill, T.C.J., Walsh, K.A., Harris, J.A. & Moffett, B.F. (2003). Using ecological diversity measures with bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 43, 1-11.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *OIKOS*, 113, 2-16. Juga [dlm talian]. Ada dalam: <http://loujost.com/Statistics%20and%20Physics/Diversity%20and%20Similarity/JostEntropy%20AndDiversity> (April 29, 2014)

- Kannegiesser, M. & Gunther, H.-O. (2014). Sustainable development of global supply chains – part 1: sustainability optimisation framework. *Flex Serv Manuf Journal*, 26, 24-47
- Li, J., Wen, Y., Zhou, Q., Xingjie, Z., Li, X., Yang, S. & Lin, T. (2008). Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 99, 4990-4996.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. London: Chapman and Hall.
- Nettle, D., Grace, J.B., Choisy, M., Cornell, H.V., Guegan, J-G. & Hochberg. M.E. (2007). Cultural Diversity, Economic Development and Societal Instability. *PLoS ONE*, 2(9), e929. doi:10.1371/journal.pone.0000929. Juga [dlm talian]. Ada dlm: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0000929#s2> (April 29, 2014)
- Oxford economics, (2012), *The Global Diversity Report. An Annual Guide to Measure Global Employee Diversity*. [Dlm talian]. Ada dlm: <http://www.oxfordeconomics.com/publication/open/224348> (Mei 5, 2014)
- Pielou, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 145-163.
- (1975). *Ecological Diversity*. New York: Wiley
- Pir, Zahoor, Ahilya, Devi & Valeriano, Katryn, (2013), [Dlm talian]. Ada dlm: http://www.Researchgate.net/post/If_I_obtain_theshannon-wiener (July 5, 2014)
- Porter, J.W. (1972). Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. *Ecology*, 53(4), 745-748).
- Rafael, D-V.E., Francisco, M-P. M. & Pedro, A-A. (2009). Us of simulated and real data to identify heterogeneity domains in scale-divergent forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 2358, 2490-2500.
- Shaharir, b.M.Z. (2012a). Sains Keterlestarian Mengikut Perspektif Melayu Pra-Islam dan Melayu Islam. *Jurnal Akademika* (UKMalaysia) 82(2): 101-108.
- (2012b). A new paradigm in sustainability. *Journal of Sustainability Development* (Canada) 5(1): 91-99
- (2012c). Jatuh-bangunnya ilmu. *Wacana 2. Siri Tiga Wacana Keterlestarian Ilmu Malayonesia*, anjuran PDP-DBP 2012-2013, 27 Nov. 2012, di DBP, Kuala Lumpur, Malaysia.
- (2013). Muncul-Lesapnya Konsep dan Istilah asli sains dan matematik dalam bahasa Melayu. *Wacana 3. Siri Tiga Wacana Keterlestarian Ilmu Malayonesia*, anjuran PDP-DBP 2012-2013, 30 Mei 2013, di DBP, Kuala Lumpur, Malaysia
- (2014). A review on sustainability as an optimisation. *Katha* (PDP, UM, Malaysia) 10: 1-15
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Tech. J.*, 27, 379-423, 623-656
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: Univ. of Illinois Press.
- Sholz, M. & Xu, J. (2002). Performance comparison of experimental constructed wetland with different filter media and microphytes treating industrial wastewater contaminated with lead and copper. *Bioresource Technology*, 83, 71-79
- Tabaro, S.R. , Mutanga, O., Rugege, D. & Micha , J.C. (2012). Optimum rabbit density over fish ponds to optimise Nile tilapia production in an integrated rabbit–fish system in Rwanda . *African Journal of Aquatic Science*, 37(2), 165-174
- Tuomisto, H. (2010). A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography*, 33(1), 2-22; Part 2 , *ibid.* pp. 23-45
- (2012). An updated consumer's guide to evenness and related indices. *Oikos*, 121 (8), 1203-1218
- Wang, Y., Jia, Y., Guan, L., Lu, C., Lei, G., Wen L. & Liu, G. (2013). Optimising hydrological conditions to sustain wintering waterbird populations in Poyang Lake National Natural Reserve: implications for dam operations . *Freshwater Biology*, 58(11), 2366-2379
- West, J. (2014). Sustainability assessment using DEA. Dlm. *The Long Hedge - Preserving Organisational Value through Climate Change Adaptation*. Austin, Texas: Greenleaf Pub. Chapter 1.9, (pp. 210-233)
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control in Communication in the Animal and Machine*. N.York: John Wiley and Sons
- Wu, D. & Legg, D. (2011). Responses of benthic insect communities to effluent from the abandoned Ferris-Haggarty copper mine in southeast Wyoming, USA. *Journal of Environmental Sciences*, 23(11), 1894-1903.
- Zeferino, J., Antunes, A.. & Cunha, M. (2010). Multi-objective model for regional wastewater systems planning. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 27(2), 95-106