

KENDALI KECEPATAN MOTOR DC SHUNT DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER DAN FUZZY CURENT LIMITTER

Pahrudin Hasibuan¹, Muhammad Ashari², Soebagio³

Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya 60111

e-mail: ¹dinhasy@yahoo.com, ²ashari@ee.its.ac.id, ³soebagio@ee.its.ac.id

ABSTRAKSI

Pengembangan kendali kecepatan motor dc untuk menjaga stabilitas operasionalnya dalam berbagai aplikasi dengan menggunakan sistem cerdas. Pada penelitian ini akan dikembangkan Kendali kecepatan motor dc shunt dengan kontroler yang berbasis logika fuzzy dan kontroler pembatas arus berbasis logika fuzzy dengan menggunakan rangkaian konverter tegangan berupa PWM-Choper.

Dengan penelitian ini diharapkan bahwa pengaturan kecepatan motor dc akan sesuai refrensi dan pada aplikasinya tidak terjadi arus yang berlebih.

Kata kunci: Kendali Kecepatan Motor, Fuzzy Logic Control, PWM-Choper

1. PENDAHULUAN

Motor DC adalah motor yang ideal untuk digunakan dalam pengemudian elektrik (Electric Drive). Umumnya Pengendalian Kecepatan Motor DC tidak membutuhkan konverter. Pengendalian kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengaturan arus magnetisasi.
2. Pengaturan tahanan jangkar.
3. Pengaturan Tegangan Jepitan.

Dari hasil survey yang didapat bahwa konsumsi daya pada motor yang didrive dengan kecepatan konstan lebih besar dibandingkan dengan konsumsi daya pada motor yang didrive dengan kecepatan variable, karena itu motor sangat banyak digunakan dengan kecepatan variable.

Motor DC dengan ukuran daya besar banyak mendapatkan suplai dari Konverter AC – DC tiga fasa, karena sumber daya dc yang besar sulit didapatkan. Karena itu pengaturan kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan mengatur tegangan input converter tersebut.

Untuk memperbaiki respon dari sistem secara konvensional dapat dilakukan dengan menggunakan kontroler PI, namun kelemahan dari kontroler PI adalah bila beban berubah maka parameter controller harus selalu ditala (tuned) dalam operasi dengan kecepatan yang variable.

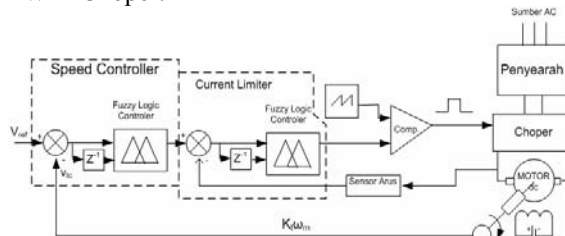
Sasaran Penelitian ini adalah kendali kecepatan motor dc shunt dengan mengatur tegangan melalui suatu konverter berupa DC PWM-Choper menggunakan kontroler berbasis fuzzy.

Seringkali dalam operasionalnya arus bisa membesar melebihi harga nominalnya. Karena itu perlu ditambahkan control pembatas arus.

2. PEMODELAN SISTEM

Model kendali kecepatan motor dc shunt dengan fuzzy logic controller dan fuzzy curent limiter [2] dapat dilihat pada gambar 1. Pada model ini fuzzy logic controller digunakan pada kontroler kecepatan dan pada kontroler pembatas arus.

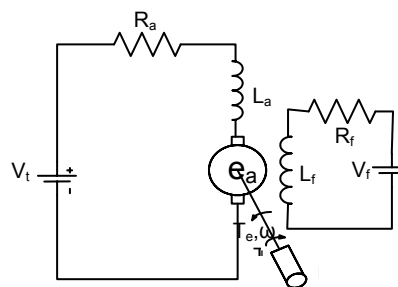
Rangkaian daya yang digunakan adalah rangkaian PWM-Choper.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kendali Motor DC shunt dengan logika Fuzzy

2.1 Model matematika motor dc shunt

Model dinamik motor dc [1] dapat dilihat seperti pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Skematis Motor DC

Rangkaian motor terdiri dari kumparan jangkar disuplai dengan tegangan terminal V_t , sedangkan kumparan medan disuplai dengan tegangan tetap V_f untuk mendapatkan fluksi tetap.

Persamaan-persamaan yang berlaku pada motor adalah:

a. **Tegangan terminal:**

$$V_t = e_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \text{ Volt} \quad (1)$$

Keterangan :

- V_t = tegangan terminal
- R_a = tahanan jangkar
- L_a = induktansi jangkar

i_a = arus jangkar
 e_a = tegangan terbangkitkan pada jangkar

b. Tegangan Induksi pada Jangkar:

$$e_a = K_a \Phi_d \omega_m \text{ Volt} \quad (3)$$

K_a merupakan konstanta motor yang nilainya tergantung pada konstruksi kutub dan lilitan armature pada motor yang dinyatakan sebagai:

$$K_a = PC_a / 2\pi m \quad (4)$$

Keterangan :

- ω_m = kecepatan putar rotor motor
- K_a = konstanta motor
- Φ_d = fluks celah udara sumbu langsung
- C_a = jumlah lilitan konduktor pada armatur
- M = banyaknya lintasan paralel melalui lilitan

c. Torka elektromagnetis pada motor:

$$T_e = K_a \Phi_d i_a \text{ N.m} \quad (5)$$

Keterangan :

T_e = momen kakas magnet

Dengan mengabaikan kejenuhan magnetik medan, maka fluks celah udara sumbu langsung Φ_d berbanding linier dengan arus medan i_f , sehingga persamaan diatas menjadi:

$$T_e = k_f i_f i_a \text{ N.m} \quad (6)$$

$$e_a = k_f i_f \omega_m \text{ Volt} \quad (7)$$

dimana k_f merupakan suatu konstanta pada kumparan medan dan i_f merupakan arus pada kumparan medan. Bila motor dc yang dicatu dengan arus medan terpisah i_f konstan, momen elektromagnetik dan tegangan yang dibangkitkan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$T_e = K_m i_a \text{ N.m} \quad (8)$$

$$e_a = K_m \omega_m \text{ Volt} \quad (9)$$

dimana $K_m = k_f i_f$ merupakan tetapan.

d. Torka mekanik pada motor dc diberikan pada persamaan berikut ini:

$$T_m = J \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \text{ N.m} \quad (10)$$

Keterangan :

- T_L = momen kakas beban melawan putaran
- J = momen kelembaman jangkar dan beban
- $\tau_a = L_a/R_a$ = tetapan waktu listrik

dalam keadaan seimbang torka elektromagnetik sama besar dengan torka mekanik.

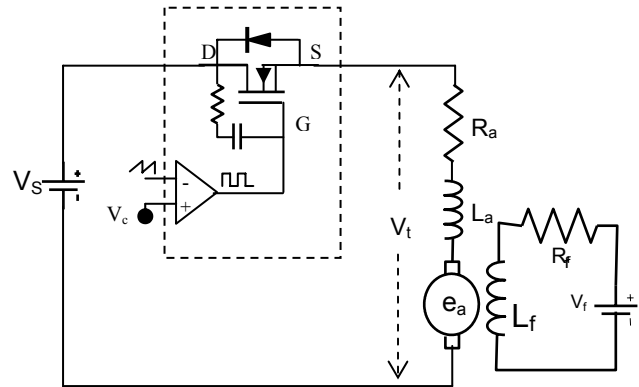
e. Percepatan pada motor:

Dengan menyusun kembali persamaan 10 dapat dibentuk persamaan percepatan pada motor dc sebagai berikut:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{T_m}{J} - \frac{T_L}{J} \text{ m/det}^2 \quad (11)$$

2.2 Model Matematika Rangkaian PWM-Choper

Rangkaian daya konverter tegangan yang digunakan pada penelitian ini berupa rangkaian PWM-Choper [4][5] seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Choper dan beban motor dc

Pebandingan antara waktu penyalaan dan waktu satu perioda gelombang (duty ratio) pada rangkaian PWM adalah:

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{V_c}{V_{st}} \quad (12)$$

Keterangan:

- D = duty ratio
- T_s = Periode pulsa persegi
- V_c = Tegangan control
- V_{st} = Puncak tegangan pulsa gigi gergaji

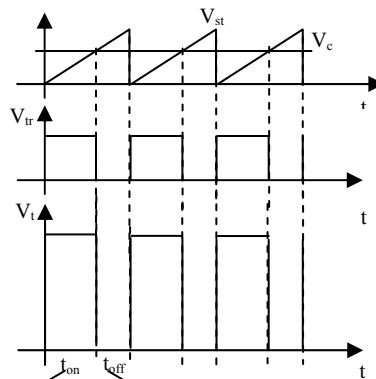
Persamaan Tegangan keluaran dari PWM - Choper ini adalah:

$$V_t = D.V_s = \frac{V_s}{V_{st}} . V_c = k.V_c \quad (13)$$

dengan k adalah konstanta:

$$k = \frac{V_s}{V_{st}} = \text{kons tan} \quad (14)$$

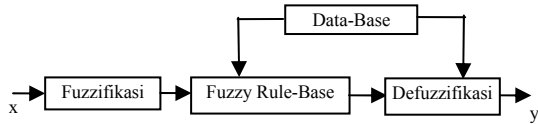
Bentuk gelombang input output dari rangkaian daya PWM-Choper dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Bentuk Gelombang input-output PWM-

2.3 Fuzzy Logic Controller (FLC)

Kontrol Logika Fuzzy (Fuzzy Logic Controller) merupakan salah satu bentuk Kontrol cerdas (intelligent controll). Penggunaan kontrol logika fuzzy dapat menyelesaikan permasalahan pada sistem yang memiliki perilaku kompleks. Struktur dasar dari Kontrol Logika Fuzzy dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5. Struktur dasar sistem Fuzzy logic controller

- Fuzzifikasi

Pada proses fuzzifikasi terjadi konversi variabel crisp kedalam variable fuzzy melalui teknik fungsi keanggotaan, dimana error dan delta error dipetakan kedalam rentang kerja semesta pembicaraan melalui persamaan berikut:

$$Qe(k) = G_1 * e(k) \quad (15)$$

$$\square Qe(k) = G_2 * \square e(k) \quad (16)$$

Pada unit fuzzifikasi ini terjadi proses transformasi dengan cara pemetaan ruang masukan dengan bantuan faktor penskala. Perbedaan kecepatan (error) diskala dengan gain G_1 , sedangkan perbedaan perubahan kecepatan (delta error) diskala dengan gain G_2 .

- Kumpulan aturan Fuzzy

Kumpulan aturan fuzzy terdiri dari beberapa aturan fuzzy yang dikelompokkan kedalam basis aturan yang merupakan dasar dari pengambilan keputusan (inference process) untuk mendapatkan aksi keluaran sinyal kontrol dari suatu kondisi masukan. Proses pengambilan keputusan menghasilkan sinyal keluaran yang masih dalam bentuk bilangan fuzzy, yaitu derajat keanggotaan dari sinyal kontrol. Basis aturan dari controller logika fuzzy dapat dilihat pada tabel 1.

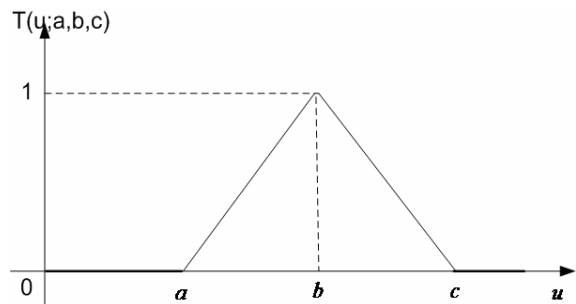
Tabel 1. Rule base controller logika fuzzy

		Masukan delta error ($\square E$)						
		nb	Nm	nk	nol	pk	pm	pb
Masukan error (E)	Nb	nb	Nb	nb	nb	nm	nk	nol
	Nm	nb	Nb	nm	nm	nk	nol	pk
	Nk	nb	Nm	nk	nk	nol	pk	pm
	Nol	nb	Nk	nk	nol	pk	pk	pm
	Pk	nm	Nk	nol	pk	pk	pm	pb
	Pm	nk	Nol	pk	pm	pm	pb	pb
	Pb	nol	Pk	pm	pb	pb	pb	pb

- Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Fungsi keanggotaan Fuzzy merupakan fungsi untuk menyatakan tingkat keanggotaan fuzzy yang nilainya antara nol dan satu. Ada beberapa bentuk fungsi keanggotaan fuzzy, diantaranya adalah: segitiga (Triangular Function), trapezium (Trapezoid Function), sigmoid, gauss dan lain-lain. Bentuk fungsi keanggotaan yang dipakai pada paper ini yang digunakan adalah bentuk segitiga dan trapezium.

Definisi Triangular function secara matematika adalah:

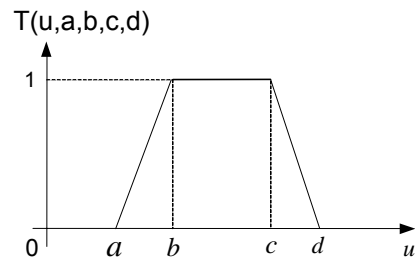


Gambar 6. Fungsi keanggotaan Triangular function

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (17)$$

Definisi Trapezoidal function secara matematika adalah:

$$Tr(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (18)$$



Gambar 7. Fungsi keanggotaan Trapezoidal function

- Fungsi Implikasi Fuzzy

Pada umumnya aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk logika IF-THEN yang merupakan dasar relasi fuzzy (R). Relasi fuzzy dalam basis pengetahuan fuzzy didefinisikan sebagai

fungsi implikasi fuzzy. Beberapa fungsi implikasi fuzzy terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Beberapa tipe fungsi implikasi fuzzy

NAMA	Operator Imp. $\phi[\mu_A(x), \mu_B(y)] =$
ϕ_m , Zadeh Max - Min	$(\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \vee (1 - \mu_A(x))$
ϕ_c , Mamdani Min	$\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)$
ϕ_p , Larsen Product	$\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$
ϕ_a , Aritmetic	$1 \wedge (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
ϕ_b , Boolean	$(1 - \mu_A(x)) \vee \mu_B(y)$

- Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses dimana suatu nilai fuzzy output dari fuzzy rule diambil dan dimasukkan kedalam suatu fungsi keanggotaan keluaran untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut crisp output. Metoda defuzzifikasi yang umum digunakan adalah *Centre of Gravity (COG) defuzzification*, didefinisikan sebagai berikut:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^R c^j \int \mu_{\hat{U}^j}(u) du}{\sum_{j=1}^R \int \mu_{\hat{U}^j}(u) du} \tag{19}$$

dengan

y = nilai keluaran (output)

c^j = nilai tengah dari keluaran fungsi keanggotaan ke-j

$\mu_{\hat{U}^j}(u)$ = keluaran fungsi keanggotaan

\hat{U}^j = fuzzy set

R = jumlah aturan (rule)

- Pemodelan Kontrol Logika Fuzzy

Pada paper ini dikembangkan sistem kontrol motor dc menggunakan Logika Fuzzy yang dibentuk kedalam 2 kontroler:

- Fuzzy Speed Controller yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor .
- Fuzzy Current Limiter yang digunakan untuk membatasi arus jangkar pada motor.

2.3.1. Fuzzy Speed Controller

Pada kontroler ini masukan diambil dari sinyal speed error (selisih antara tegangan referensi dan tegangan umpan balik yang dihasilkan oleh tacho meter) dan perubahan sinyal speed error (selisih sinyal error sebelumnya dengan sinyal error sekarang) sebagai masukan.

Keluaran dari kontroler ini merupakan referensi arus yang akan dibandingkan dengan arus jangkar sebagai masukan untuk kontroler berikutnya yang merupakan pembatas arus.

2.3.2. Fuzzy Current Limiter

Kontroler ini memanfaatkan output dari Speed Controller yang dibandingkan dengan Arus Jangkar yang diambil dari sensor arus pada

rangkainan dan perubahan selisih arus referensi dengan arus jangkar sebagai masukan.

Output dari kontroler ini merupakan tegangan kontrol untuk mengatur lebar pulsa penyalan pada rangkaian PWM.

3. DATA DAN SIMULASI

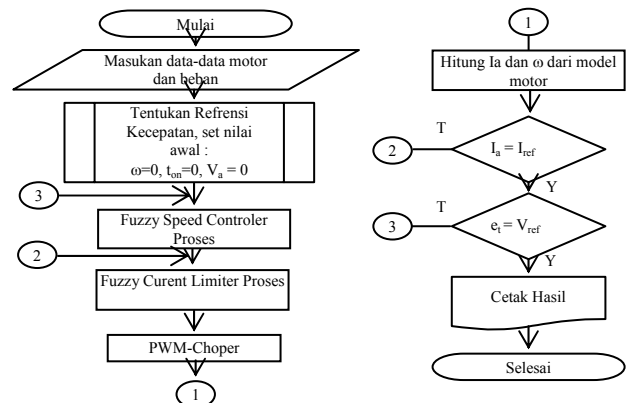
3.1 Data

Untuk pembuatan model dan simulasi pada paper ini digunakan data dari motor dc shunt 3 HP yang ada pada laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning. Data-data ini terdiri-dari:

1. Tegangan Terminal : 150 Volt dc
2. Tegangan Medan : 100 Volt dc
3. Daya : 3 Hp
4. Kecepatan : 0 – 1500 RPM
5. Resistansi Jangkar : 0,38 Ohm
6. Induktansi Jangkar : 0,0098 H
7. Tegangan Tacho : 0 – 35 Volt Dc pulse

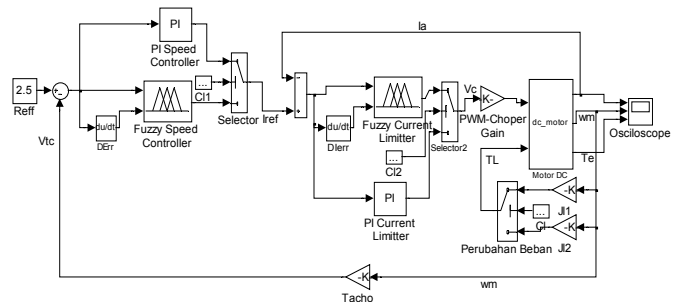
3.2 Simulasi

Model simulasi dibuat dengan menggunakan MatLab Simulink. Flowchart proses kontrol dapat dilihat pada gambar 8:



Gambar 8. Flow Chart Simulasi

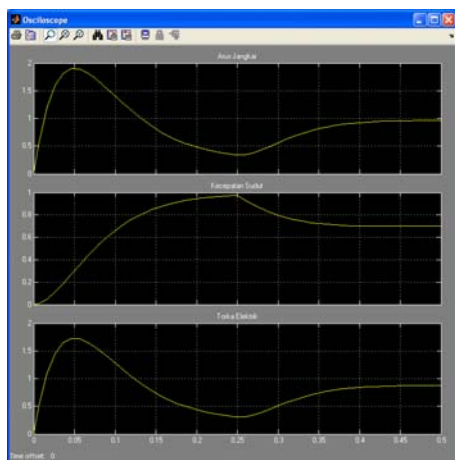
Model simulasi simulink dibuat dengan membandingkan model kontroler menggunakan kontroler PI dan model kontroler menggunakan kontroler fuzzy. Model simulasi ini dapat dilihat pada gambar 9:



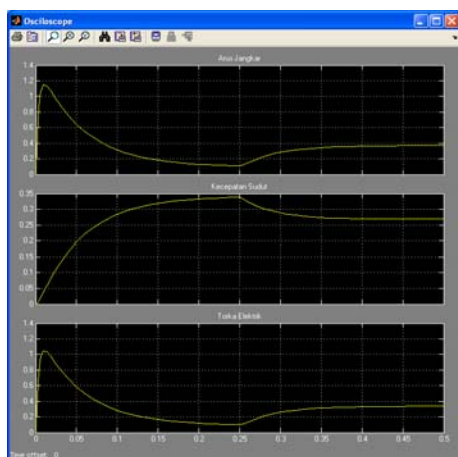
Gambar 10. Model Simulasi dengan MatLab Simulink

3.3 Grafik Hasil Simulasi

3.3.1 Grafik simulasi dengan PI Kontroler



3.3.2. Grafik Hasil Simulasi dengan Fuzzy Logic Controller



4. ANALISA DAN KESIMPULAN

Dari grafik hasil simulasi dapat dianalisa dan diambil kesimpulan bahwa performance sistem pengaturan ditinjau dari: Maximum Over shoot, delay time, rise time dan setling time untuk Arus Jangkar, Kecepatan sudut dan Torka Elektrik untuk kedua jenis kontroler:

1. Tanggapan sistem dengan menggunakan Fuzzy Logic Kontroler lebih baik daripada menggunakan PI kontroler.
2. kemampuan kontroler dalam mengembalikan kestabilan saat mendapat gangguan (dalam hal ini disimulasikan dengan perubahan torka beban secara mendadak) pada fuzzy logic kontroler lebih baik daripada PI kontroler.

PUSTAKA

- [1] Fitzgerald, A.E, Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans, Djoko Achyanto, Msc.EE, Ir, “Mesin – Mesin Listrik”, Erlangga, edisi ke empat.
- [2] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff, “Analysis Of Electric Machinery And

Drive Systems”, A Jhon Wiley & Sons, Inc second edition 2002

- [3] Ogata, “Modern Control Enggineering”, Prentice Hall International, Inc, 1997
- [4] Dewan, S.B, Straughen, A, “Power Semiconductor Circuits”, A Jhon Wiley & Sons, Inc 1975.
- [5] Mohan, Undeland, Robbins, “Power Electronic: Converter, Aplication and Design”, John Willey & Sons, Inc, New York, second edition 1995
- [6] Muhammad H, Rashid, “Power Electronic: Circuit, Device and Aplication”, Prentice Hall International, Inc, Second edition.
- [7] El-Sharkawi, M.A, Tony C. Huang, “Induction Motor Efficiency Maximizer Using Multi-Layer Fuzzy Control”, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 1996
- [8] El-Sharkawi, M.A, Tony C. Huang, “High Performance Speed and Position Tracking of Induction Motors”, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 1996
- [9] El-Sharkawi, M.A, Tony C. Huang, El-Samahi, Adel, “Intelligent Control for High Performance Drives”, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 1997
- [10] Jyh Shing Roger Jang, Chuen-Tsai Sun, Eiji Mizutani, “Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Larning and Machine Intelligence”, Prentice Hall Upper Sadle River Nj 07458, 1997.
- [11] Hosein Zadeh, H, Kalam, H, “A Rule-Based Fuzzy Power System Stabilizer Turned by Neural Network. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, No. 3, September 1999.
- [12] Cirstea, M.N, Dinu, A, Khor, J.G, McCormick, M, “Neural and Fuzzy Logic Control Of Drives and Power Systems”, Newnes, firts Published 2002.