Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Janson Naiborhu

KONTROL GRADIEN DESCENT DAN PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAK LINEAR BERFASE NON MINIMUM

27 November 2015
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
27 November 2015

Profesor Janson Naiborhu

KONTROL *GRADIEN DESCENT* DAN PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAK LINEAR BERFASE NON MINIMUM

Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: KONTROL GRADIEN DESCENT DAN PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAKLINEAR BERFASE NONMINIMUM
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB, tanggal 27 November 2015.

Data katalog dalam terbitan

Janson Naiborhu
KONTROL GRADIEN DESCENT DAN PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAKLINEAR BERFASE NONMINIMUM
Disunting oleh Janson Naiborhu

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2015
vi+38 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-8468-86-2
1. Matematika 1. Janson Naiborhu

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas kasih dan karuniaNya naskah orasi ilmiah ini dapat diselesaikan. Pertama-tama, kami mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan sidang pleno yang terhormat dari Forum Guru Besar ini.

Pada kesempatan yang berbahagia ini kami ingin menyampaikan orasi ilmiah tentang **"Kontrol Gradien Descent dan Perancangan Kontrol pada Sistem Taklinear Berfase Nonminimum"** yang digunakan untuk menyelesaikan masalah stabilisasi dan pelacakan keluaran dari sistem taklinear.

Orasi ilmiah ini tidak lain merupakan bentuk komitmen dan pertanggung-jawaban akademik kami sebagai Guru Besar kepada masyarakat. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi dan kemajuan bagi pendidikan, penelitian dan ilmu penegetahuan.

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Prof. Leo Hari Wiryanto, Prof. Salman A. N., Prof. Intan Ahmad, Prof. H. Siswadi (Institut Pertanian Bogor), dan Prof. Kiyotaka Shimizu (Keio University, Japan) atas rekomendasi yang diberikan untuk ke kedudukan Guru Besar.

Kami amat berhutang budi dan oleh karena itu menyampaikan rasa hormat yang setinggi-tingginya disertai rasa terima kasih yang amat dalam kepada ayahanda Alm H. Naiborhu dan ibunda Berta Sirait atas segala dukungan dan dorongan untuk mengikuti pendidikan, kepada istri tercinta Siti Nurmala Panjaitan yang senantiasa memberikan dukungan dalam menjalankan tugas dalam bidang pendidikan, dan anak-anakku tersayang Kesar Tulus Martogi Naiborhu, Kevin Kashikoi Naiborhu, dan Keiko Tamara Naiborhu.

Terimakasih yang setulus-tulusnya kami sampaikan kepada hadirin yang bersedia hadir dan mengikuti paparan kami dengan penuh kesabaran, teriring permohonan maaf apabila ada ungkapan serta tutur kata yang kurang berkenan.

Akhirnya, mudah-mudahan materi yang kami sampaikan dapat kiranya membawa manfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

Bandung, 27 November 2015

Janson Naiborhu.

DAFTAR ISI

KONTROL *GRADIEN DESCENT* DAN PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAKLINEARBERFASE NONMINIMUM

1. PENDAHULUAN

Secara umum, tugas sistem kontrol (linear/taklinier) dapat dibagi menjadi dua kategori: Stabilisasi *(Stabilization)* dan Pelacakan *(Tracking)*. Dalam masalah stabilisasi, pengontrol harus dirancang sehingga keadaan sistem loop tertutupnya akan stabil di sekitar titik kesetimbangan. Dalam masalah pelacakan, tujuannya adalah untuk membangun pengontrol, sehingga keluaran sistem dapat melacak sebuah lintasan yang diberikan yang berubah terhadap waktu. Biasanya, masalah pelacakan lebih sulit diselesaikan daripada masalah stabilisasi, karena dalam masalah pelacakan, pengontrol tidak hanya menjaga seluruh sistem stabil tetapi juga mendorong keluaran sistem dapat melacak lintasan yang diinginkan.

Stabilisasi secara asimtotik pada sistem kontrol taklinear telah menjadi pokok materi penelitian yang aktif pada beberapa tahun yang lalu. Hal ini dimotivasi oleh tidak memadainya teori yang ada dalam perancangan sistem kontrol untuk menyelesaikan masalah-masalah yang muncul dalam era modern ini, seperti : robotika, *advanced aircraft, smart structures* dan berbagai macam sistem taklinear yang kompleks. Dalam rangka menyelesaikan masalah-masalah yang kompleks tersebut, matematika lanjut sebagai alat didayagunakan untuk memicu pengembangan teori pada sistem kontrol taklinear.

Dalam analisis sistem kontrol taklinear, tidak ada suatu metode yang berlaku secara umum dalam perancangan kontrol taklinear untuk kestabilan. Metode linearisasi dan Lyapunov merupakan metode yang sering digunakan. Dengan fungsi kontrol Lyapunov, suatu hukum kontrol diperoleh dengan memilih input sedemikian sehingga turunan terhadap waktu dari fungsi Lyapunov lebih kecil dari nol. Tetapi memperoleh fungsi Lyapunov bukanlah hal yang mudah.

Dalam orasi ilmiah ini kami akan memaparkan suatu hukum kontrol umpan balik dinamik yang kami kembangkan yang dapat digunakan untuk menstabilkan secara asimtotik sistem taklinear, khususnya untuk sistem taklinear yang tidak dapat distabilkan dengan linearisasi atau dengan hukum kontrol statis yang kontinu. Kontrol umpan balik dinamik didefinisikan sebagai suatu integrator yang ditambahkan ke dalam system dan kami beri nama kontrol gradien *descent*.

Selain untuk masalah stabilisasi, kontrol gradien descent dapat dikembangkan untuk pelacakan keluaran dari suatu sistem taklinear. Selanjutnya, sebagai bagian kedua dari orasi ilmiah ini kami akan memaparkan rancangan kontrol untuk sistem taklinear berfase nonminimum.

Dalam teknik linierisasi umpan balik dan metode backstepping, pengontrol dirancang sebagai pengontrol statis. Metoda linierisasi umpan balik menjadi pilihan yang populer dalam menyelesaikan masalah pelacakan keluaran dari sistem taklinear. Ide dasar metoda linearisasi

umpan balik adalah mengubah sistem taklinier menjadi (sepenuhnya atau sebagian) sistem linear, dan kemudian menggunakan rancangan kontrol yang sudah teruji dalam sistem linear.

Dalam orasi ilmiah ini, kami akan menggunakan salah satu metoda yang termasuk dalam linearisasi umpan balik yaitu linearisasi input-output. Dengan metoda linearisasi input-output, sistem tak linear akan diubah menjadi dua buah sub sistem yaitu sistem yang hanya dipengaruhi oleh keadaan ekternal (dinamik eksternal) dan sistem yang dipengaruhi oleh keadaan internal (dinamik internal). Apabila dinamik internal stabil (sistem taklinear disebut berfase minimum) maka perancangan kontrol untuk pelacakan dapat menggunakan teknik pada sistem linear dengan memilih input sehingga dinamik eksternal menjadi sebuah sistem linear. Tetapi jika dinamik internal tidak stabil (sistem taklinear disebut berfase nonminimum), teknik dalam linearisasi input-output tidak dapat dilakukan. Dalam orasi ilmiah ini, kami akan memaparkan dua buah metoda yang kami kembangkan unuk pelacakan keluaran pada sistem taklinear berfase nonminimum.

2. KONTROL GRADIEN DESCENT

Ide dasar dari kontrol gradien descent yang dikembangkan adalah sebagai berikut. Tinjau sistem kontrol taklinear dalam bentuk persamaan

$$\dot{x} = f(x,u) \tag{1}$$

dengan $x \in R^n$ adalah vektor keadaan, $u \in R^m$ adalah vektor kontrol, dan $f: R^n \times R^m \to R^n$ adalah suatu fungsi mulus. Kemudian diasumsikan bahwa sistem (1) mempunyai satu titik kesetimbangan dan dapat distabilkan *(stabilizable)*. Tanpa mengurangi keberlakuan secara umum, misalkan $(\mathbf{0}, \mathbf{0}) \in R^n \times R^m$ adalah titik kesetimbangan dari (1), yaitu $f(\mathbf{0}, \mathbf{0}) = \mathbf{0}$.

Tujuan merancang kontrol adalah untuk membuat keadaan *x(t)* menuju nol bila *t* menuju tak hingga. Dalam hal ini tidak dipermasalahkan bagaimana *x(t)* menuju nol. Berdasarkan tujuan ini didefinisikan sebuah indeks performansi dalam bentuk *F(x,u)=V(x)+P(u)* dengan *V(x)* dan *P(u)* adalah fungsi-fungsi terdiferensialkan, *V(x)>0* untuk *x≠0, P(u)>0* untuk *u≠0,* dan *V(0)=0, P(0)=0*. Selanjutnya, input kontrol *u* dirancang untuk membuat nilai dari *F(x,u)* mengecil/berkurang atau turun terhadap waktu *t* dengan metode gradien *descent*, yaitu suatu metode yang menyelesaikan masalah optimasi dengan mengambil arah iterasinya berlawanan arah dengan gradien dari indeks performansinya. Dengan arah ini, nilai fungsi akan berkurang paling cepat. Untuk penyelesaian kontinu, metode ini membentuk suatu persamaan diferensial orde satu, yaitu

$$\dot{u} = -\alpha D_u F(x, u). \tag{2}$$

dengan

$$D_u F(x, u) = f_u(x, u)^T F_x(x, u)^T + F_u(x, u)^T. \tag{3}$$

Hukum kontrol ini disebut *kontrol gradient descent*.

Kontrol Gradien descent merupakan hukum kontrol dinamik yaitu

suatu integrator yang ditambahkan ke dalam sistem taklinear (1) sehingga diperoleh suatu sistem baru, yang disebut sebagai sistem yang diperluas, yaitu

$$\dot{x} = f(x, u) \tag{4}$$

$$\dot{u} = -\alpha\, D_u F(x, u). \tag{5}$$

Dalam sistem yang diperluas (4)-(5), nilai *a* masih bebas untuk ditentukan dan fungsi *F(x,u)* dipandang sebagai kandidat fungsi Lyapunov untuk sistem yang diperluas tersebut. Masalah stabilisasi sistem taklinear berubah menjadi pencarian nilai *a* sedemikian sehingga turunan terhadap *t* dari *F(x,u)* lebih kecil dari nol untuk semua *t*.

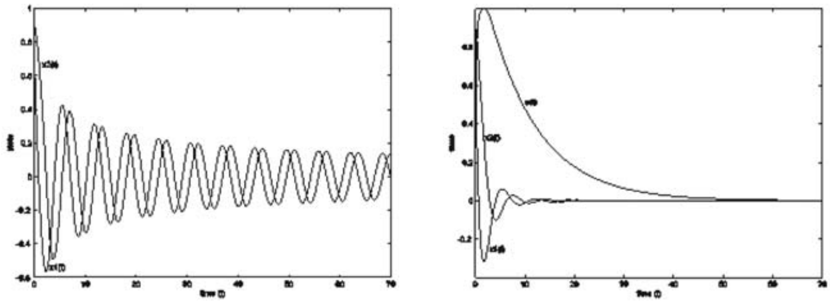
Berikut ini kami paparkan beberapa hasil yang diperoleh dalam penerapan kontrol gradien descent.

1. Jika sistem $\dot{x} = f(x, 0)$ stabil asimtotik secara global, maka penambahan kontrol input *u* ke dalam sistem dimaksudkan untuk memberi kebebasan dalam mempercepat laju kekonvergenan *(Stability Improvement)*. Perhatikan sistem berikut.

   $$\dot{x}_1 = -x_2 - x_1 u$$

   $$\dot{x}_2 = x_1 - x_2^3$$

   Hasil penerapan kontrol gradien descent ke sistem tersebut disimulasikan pada Gambar 1.



Gambar 1.: Kiri :***u(t)=0***. Nilai awal: x_1 ***(0)=0.8;*** x_2 ***(0)=0.9.;***
Kanan : α***(x,u)=K(x,u)*** dan γ***=0.1.*** Nilai awal: x_1 ***(0)=0.8;*** x_2 ***(0)=0.9; u(0)=0.5.***

2. Tinjau sistem kontrol taklinear umum input tunggal

$$\dot{x} = f(x,u), \tag{6}$$

Misalkan sistem kontrol taklinear stabil untuk *u*=0 dan memenuhi asumsi

Asumsi 1. Fungsi *g(x,u)=f(x,u)-f(x,0)* adalah polinomial dalam *u*.

Kemudian indeks performansi didefinisikan oleh

$$F(x,u) = V(x) + \tfrac{1}{2}u^2. \tag{7}$$

Dengan mengaplikasikan kontrol gradient descent ke sistem (6) maka terdapat $h_1(x), \ldots, h_s(x)$ dan γ>0 sehingga sistem yang diperluas

$$\dot{x} = f(x,u) \tag{8}$$

$$\dot{u} = -h_1(x) - h_2(x)u \cdots - h_s(x)u^{s-1} - \gamma u, \tag{9}$$

stabil global. Kemudian, jika asumsi berikut

Asumsi 2. $\{x|h_1(x) = 0\} \cap \{x|V_x(x)f(x,0) = 0\} = \{0\}$

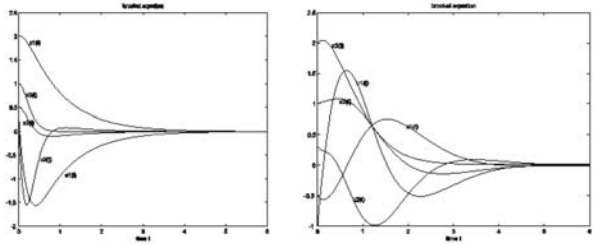
dipenuhi, maka sistem yang diperluas (8)-(9) menjadi stabil asimtotik global. Hasil ini dapat diperluas untuk sistem kontrol taklinear umum dengan input jamak.

Selanjutnya kami akan memaparkan hasil yang kami peroleh bila kontrol gradien descent ini diaplikasikan pada sistem *Integrator Brockett* yang merupakan contoh dari sistem taklinear yang tidak dapat distabilkan secara asimtotik dengan linearisasi ataupun dengan kontrol statis yang kontinu.

Dengan mengaplikasikan kontrol gradien descent diperoleh sistem yang diperluas

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= u_1\\
\dot{x}_2 &= u_2\\
\dot{x}_3 &= x_1u_2 - x_2u_1\\
\dot{u}_1 &= -\alpha(x_1 - x_2x_3 + u_1)\\
\dot{u}_2 &= -\alpha(x_2 + x_1x_3 + u_2).
\end{aligned} \tag{10}$$

Kemudian ditentukan *a* sesuai dengan nilai awal yang diambil, dan hasilnya diberikan dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 2.: Kiri :α**=8.170722;** Nilai awal: x_1 **(0)=2;**x_2 **(0)=0.5;**x_3 **(0)=1;**u_1 **(0)=0.3;**u_2 **(0)=0.2;**
Kanan :α**=2.4877;** Nilai awal: x_1 **(0)=-0.5,**x_2 **(0)=1,**x_3 **(0)=2,**u_1 **(0)=-1,**u_2 **(0)=0.3**

3. PERANCANGAN KONTROL PADA SISTEM TAKLINEAR BERFASE NON-MINIMUM

Modifikasi Kontrol Gradien Descent

Tinjau sistem taklinear input tunggal dan output tunggal berikut.

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, x \in R^n, u \in R \tag{11}$$

$$y = h(x), y \in R$$

Misalkan sistem mempunyai derajat relatif $r(r<n)$ pada suatu x°. Dengan metoda linearisasi input-output sistem tersebut dapat dituliskan dalam bentuk normal sebagai berikut.

$$\begin{cases} \sum_{ext}: \begin{cases} \dot{\xi}_k &= \xi_{k+1}, k = 1, \cdots, r-1 \\ \dot{\xi}_r &= a(\xi,\eta) + b(\xi,\eta)u \end{cases} \\ \sum_{int}: \dot{\eta} = q(\xi,\eta) \\ y = \xi_1 \end{cases} \tag{12}$$

dengan

$$\sum_{int}: \dot{\eta} = q(\xi,\eta), \tag{13}$$

sebagai dinamik internal dari sistem. Jika $\xi = 0$, persamaan (13) disebut dinamik nol dari sistem. Jika dinamik nol dari sistem stabil maka sistem tersebut dikatakan dalam fase minimum lemah, dan jika stabil asimtotik dikatakan berfase minimum. Sistem disebut berfase nonminimum jika dinamik nol dari sistem tidak stabil.

Tujuan merubah sistem ke bentuk normal adalah untuk dapat menggunakan hukum kontrol linear pada eksternal dinamik

$$\sum_{ext}: \begin{cases} \dot{\xi}_k &= \xi_{k+1}, k = 1, \cdots, r-1 \\ \dot{\xi}_r &= a(\xi,\eta) + b(\xi,\eta)u \end{cases} \tag{14}$$

yaitu dengan memilih

$$u = \frac{1}{b(\xi,\eta)}(a(\xi,\eta) + v). \tag{15}$$

Dengan pengambilan input u seperti pada persamaan (15), eksternal dinamik menjadi linear.

Mari kita perhatikan sistem yang dinyatakan dalam persamaan bentuk normal (12). Kestabilan keadaan internal η diperlukan untuk menjamin terlacaknya keluaran yg diinginkan $y_d\ (t)$ oleh keluaran dari sistem $y(t)$ (sistem fase minimum). Oleh karena itu, internal dinamik harus stabil. Berdasarkan kontrol gradien descent kita perkenalkan modifikasi kontrol gradien descent untuk membuat keadaan internal η stabil atau keadaan internal η melacak η_d, $\eta(t) \rightarrow \eta_d$, jika $t \rightarrow \infty$ (regulasi keadaan internal), untuk suatu η_d yang kita tentukan kemudian. Untuk lebih mempermudah pemahaman selanjutnya kita notasikan variabel berikut.

- $\eta(t)$ keluaran virtual
- $\eta_d(t)$ keluaran virtual yang diinginkan
- r_η sebagai derajat relatif dari sistem. Kita ketahui bahwa $\eta \in R^{n-r}$ maka $r_\eta = [r_\eta^1, \cdots, r_\eta^{n-r}]$.

Untuk masalah pelacakan keluaran sistem tak linear berfase minimum, indeks performansi didefinisikan sebagai kuadrat kesalahan dari keluaran dari sistem dengan keluaran yang diinginkan, sedangkan untuk sistem fase non-minimum, indeks performansi didefinisikan sebagai kuadrat kesalahan dari keluaran dari sistem dengan keluaran yang diinginkan ditambah dengan kuadrat kesalahan dari keluaran dinamik internal. Penambahan keadaan internal ke indeks performansi untuk menjaga stabilitas internal dan diharapkan keadaan internal akan menuju titik kesetimbangan dari sistem.

Berdasarkan *y(t)*, η*(t)* dan turunannya, indeks performansi dibangun sebagai berikut.

$$F_0(y(t),\eta(t)) = \left(\sum_{j=0}^{r} a_i \left(y_d^{(j)}(t) - y^{(j)}(t)\right)\right)^2 + \sum_{i=1}^{n-r}\left(\sum_{j=0}^{r_\eta^i} b_j^i \left(\eta_{di}^{(j)}(t) - \eta_i^{(j)}(t)\right)\right)^2 \quad (16)$$

dimana konstanta-konstanta $a_0, \cdots, a_r; b_0^i, \cdots, b_{r_\eta^i}^i, i = 1, \cdots, n-r$ akan dipilih kemudian. Jadi masalah pelacakan keluaran dapat ditulis menjadi masalah optimasi yaitu

$$\underset{u(t)}{decrese}\ F_0\,(y(t),\eta(t))$$

$$\text{subj. to } \dot{x}(t) = f(x(t),u(t)), x(t_o) = x_o \quad (17)$$

$$y(t) = h(x(t))$$

$$\eta_1(t) = q_1(x(t))$$

$$\eta_2(t) = q_2(x(t))$$

$$\vdots$$

$$\eta_{n-r}(t) = q_{n-r}(x(t)).$$

Dengan menerapkan kontrol gradien descent diperoleh

$$\dot{u}(t) = -\alpha(x(t),u(t))\nabla_u F_0(y(t),\eta(t)) \quad (18)$$

dengan

$$\nabla_u F_0(y(t),\eta(t)) = f_u^T \frac{\partial h^T}{\partial x} F_{0y}^T + \sum_{j=1}^{q} f_u^T \frac{\partial \beta^{j^T}}{\partial x} F_{0y_i^j}^T + \frac{\partial \beta^{q^T}}{\partial u} F_{0y^{(q)}}^T$$

$$+ \sum_{i=1}^{n-r}\sum_{j=0}^{r_\eta^i} f_u\,(x(t;u),u(t))^T \frac{\partial \eta_i^{j^T}}{\partial x} F_{0\eta_i^j}^T + \sum_{i=1}^{n-r} \frac{\partial {\eta_i^{r_\eta^i}}^T}{\partial u} F^T_{0\eta_i^{(r_\eta^i)}}$$

adalah gradient indeks performansi (16) terhadap u.

Kemudian kita tentukan $\alpha(x(t),u(t))$ dengan mengadopsi rumus Sontag sehingga $\frac{d}{dt}F_0 < 0$. Dengan $\frac{d}{dt}F_0 < 0$, ini mengindikasikan bahwa $F_0(y(t),\eta(t)) \to 0$ if $t \to \infty$. Karena $F_0(y(t),\eta(t)) \geq 0$ dan masing-masing suku pada sebelah kanan persamaan (16) adalah positif ∀t, maka jika $F_0(y(t),\eta(t)) = 0$, kita peroleh

$$\sum_{j=0}^{r} a_j \left(y_d^{(j)}(t) - y_{(j)}(t)\right) = 0$$

$$\sum_{j=0}^{r_\eta^1} b_j^1 \left(\eta_{d1}^{(j)}(t) - \eta_1^{(j)}(t)\right) = 0$$

$$\vdots$$

$$\sum_{j=0}^{r_\eta^{(n-r)}} b_j^{(n-r)} \left(\eta_{d(n-r)}^{(j)}(t) - \eta_{(n-r)}^{(j)}(t)\right) = 0$$

Dengan memilih nilai $a_0, \cdots, a_r$ sedemikian sehingga nilai eigen dari polinom

$$a_r s^r + a_{r-1}s^{r-1} + \cdots + a_1 s + a_0 = 0$$

bernilai real negatif dan nilai $b_0^i, \cdots, b_{r_\eta^i}^i, i = 1, \cdots, n-r$ sedemikian sehingga nilai eigen polinom

$$b_{r_\eta^i}^i s^{r_\eta^i} + b_{r_\eta^i - 1}^i s^{r_\eta^i - 1} + \cdots + b_1^i s + b_0^i = 0$$

bernilai real negatif, diperoleh

$y(t) \rightarrow y_d(t)$

$\eta(t) \rightarrow \eta_d(t)$

jika $t \rightarrow \infty$. Dengan kata lain, pelacakan keluaran dan regulasi keadaan internal dicapai bersama-sama.

Mari kita perhatikan contoh berikut.

Diberikan sistem taklinear berfase nonminimum

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1(t) &= -x_1(t) + x_2(t) \\
\dot{x}_2(t) &= -3x_2(t) + x_1^3(t) + (2 + sin^2[x_4(t)])u(t) \qquad (19) \\
\dot{x}_3(t) &= x_1(t) - 2x_3(t) \\
\dot{x}_4(t) &= -x_4 + x_3^2(t) \\
y(t) &= x_1(t) - 3x_3(t).
\end{aligned}$$

Derajat relatif dari sistem (r) adalah 2 dan bentuk normal persamaan (19) adalah

$$\begin{aligned}
\dot{\xi}_1(t) &= \xi_2(t) \\
\dot{\xi}_2(t) &= -18\xi_1(t) - 7\xi_2(t) - 24\eta_1(t) + (\xi_1(t) + 3\eta_1(t))^3 + (2 + \\
&sin^2\ [\eta_2(t)])u(t) \qquad (20) \\
\dot{\eta}_1(t) &= \eta_1(t) + \xi_1(t) \\
\dot{\eta}_2(t) &= -\eta_2(t) + \eta_1^2(t).
\end{aligned}$$

Untuk membangun indeks performansi, misalkan $\eta_1(t) = x_3(t)$ dan $\eta_2(t) = x_4(t)$ sebagai keluaran virtual dari sistem (19), sehingga didapat $r_\eta^1 = 3; r_\eta^2 = 4$. Berdasarkan $y(t), \eta_1(t), \eta_2(t)$ dan turunannya, dibangun indeks performansi

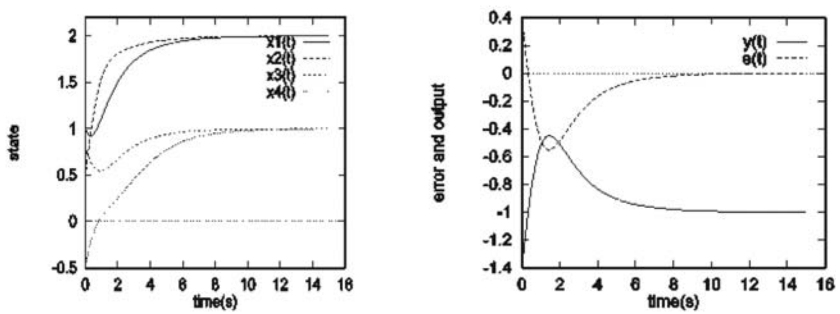
$$F_0(y(t), \eta_1(t), \eta_2(t)) = (a_2(\ddot{y}_d(t) - \ddot{y}) + a_1(\dot{y}_d(t) - \dot{y}(t)) + a_0(y_d(t) - y(t)))^2 + \left(b_3(\eta_1^{(3)}(t) - \eta_{1d}^{(3)}(t)\right) + b_2(\ddot{\eta}_1(t) - \ddot{\eta}_{1d}(t)) + b_1(\dot{\eta}_1(t) - \dot{\eta}_{1d}(t)) + b_0(\eta_1(t) - \eta_{1d}(t))^2 + (c_4\left(\eta_2^{(4)}(t) - \eta_{2d}^{(4)}(t)\right) + \left(c_3(\eta_1^{(3)}(t) - \eta_{1d}^{(3)}(t)\right) + c_2(\ddot{\eta}_1(t) - \ddot{\eta}_{1d}(t)) + c_1(\dot{\eta}_1(t) - \dot{\eta}_{1d}(t)) + c_0(\eta_1(t) - \eta_{1d}(t))^2 .$$

Kemudian $\eta_d(t)$ diperoleh dari titik kesetimbangan internal dinamik dari sistem.

$\dot{\eta}_1(t) = \eta_1(t) + \xi_{1d}(t)$

$\dot{\eta}_2(t) = -\eta_2(t) + \eta_1^2(t).$

Hasil simulasi diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3.: Nilai Parameter: a_2**=1;** a_1**=3;** a_0**=2;** b_3**=1;** b_2**=6;** b_1**=11;** b_0**=6;** c_4**=1;** c_3**=6.5;** c_2**=13.5;** c_1**=11.5;** c_0**=3; k=20.** Kondisi awal :x_1 **(0)=1;** x_2 **(0)=0.5;** x_3 **(0)=0.8;** x_4 **(0)=-0.5.** Keluaran yang diinginkan **:**y_d **(*t*)=-1.** Keluaran virtual yang diinginkan: η_{d1} ***(t)=1;*** η_{d2} ***(t)=1.***

Pendefinisian Ulang Keluaran

Ide dasar dari metoda pendefinisian ulang keluaran adalah untuk memperoleh sistem taklinear berfase minimum, yaitu dengan melakukan linearisasi eksak, sehingga parancangan kontrol untuk sistem linear dapat digunakan. Untuk menerapkan metoda pendefinisian ulang keluaran dibutuhkan asumsi berikut yaitu :

Asumsi 3. Sistem taklinear (11) terlinearkan secara eksak.

Dengan asumsi ini dijamin ada fungsi keluaran yang lain sehingga sistem mempunyai derajat relatif sama dengan dimensi dari sistem. Hal ini dinyatakan oleh teorema berikut.

Teorema 1. Misalkan sistem (11) diberikan. Masalah pelinearan ruang keadaan secara eksak dapat diselesaikan di sekitar titik x^0(yaitu ada sebuah fungsi output $\lambda(x)$ yang olehnya sistem mempunyai derajat relatif n di x^0) jika dan hanya jika kondisi berikut dipenuhi.

1. matriks $\left([g(x^0)ad_f g(x^0)\cdots ad_f^{n-2}g(x^0)ad_f^{n-1}g(x^0)]\right)$ mempunyai rank n,
2. distribution $D = span\{g, ad_f g, \cdots, ad_f^{n-2}g\}$ adalah involutif dekat x^0.

Jadi dengan teorema di atas, ada sebuah fungsi keluaran $\lambda(x)$ sedemikian sehingga sistem taklinear (11) dapat ditransformasikan menjadi

$$\begin{aligned} \dot{z}_k &= z_{k+1}, k = 1, \cdots, n-1 \\ \dot{z}_n &= a(z) + b(z)u \\ y &= z_1 = \lambda(x). \end{aligned}$$

Jika $b(z(t)) \neq 0, \forall t$, masalah pelacakan keluaran dapat diselesaikan dengan teknik liniearisasi input-output.

$$u_r = \frac{1}{b(z)}(-a(z) + v),$$

dengan $v = c_0 z_1 + c_1 \dot{z}_2 +\cdot + c_n z_1^{(n)}$ dan nilai dari $c_i; i = 0, \cdots n$ dipilih

sedemikian sehingga bagian real dari nilai eigen dari polinom $p(s)$

$$p(s) = c_n s^n + c_{n-1}s^{r-1} + \ldots + c_1 s^1 + c_o$$

adalah negatif.

Selanjutnya muncul masalah jika $b(z(t_s))$ pernah nol. Untuk mengatasi kasus $b(z(t_s))=0$ pada saat $t=t_s$, kami merancang pengontrol $u_s(t)$ di sekitar $z(t_s)$, dan pengontrol ini diberi nama Jembatan polinom singularitas.

Jembatan Polinom Singularitas

Jika $(z(t)) \neq 0, \forall t$, sistem disebut mempunyai derajat relatif yang terdefenisi dengan baik. Sebaliknya jika ada $t = t_s$ sedemikian sehingga $b(z(t_s)) = 0$, sistem disebut mempunyai derajat relatif yang tidak terdefinisi dengan baik. Dalam kasus ini, $z(t_s)$ disebut titik singular untuk pelacakan keluaran secara asimtotik.

Hukum kontrol $u_s(t)$ dikembangkan sebagai sebuah deret pangkat formal di dalam selang $[t_s - \varepsilon, t_s + \varepsilon] = T_s$, dengan $\varepsilon > 0$ (sekitar titik singulir).

$$u_s(t) = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{u^{(i)}(t_s)}{i!}(t - t_s)^i, t \in T_s.$$

dengan $u^{(i)}(t_s), i = 0,1,2, \cdots, m-1$ adalah solusi sistem taklinear

$$\begin{aligned} y_d^{(r+1)}(t_s) &= a_{r+1}(z(t_s), u(t_s)) \\ \vdots &= \vdots \\ y_d^{(r+m)}(t_s) &= a_{r+m}(z(t_s), u(t_s), \dot{u}(t_s), \cdots, u^{(m-1)}(t_s)) \end{aligned}$$

Kontrol polinom ini digunakan sebagai jembatan yang menghubungkan titik di disekitar titik singular. Jadi,

$$u(t) = \begin{cases} u_r(t) & ; \quad t \in [0, t_s - \varepsilon] \cup [t_s + \varepsilon, \infty) \\ u_s(t) & ; \quad t \in T_s \end{cases} \tag{21}$$

Sebelum menggunakan hukum kontrol (21), kita harus men-set-up keluaran yang diinginkan untuk $\lambda(x)$, i.e. $\lambda_d(t)$. Untuk keperluan ini kita butuhkan asumsi berikut.

Asumsi 4. $h(x) = x_l$ untuk $l \in \{1,2,\cdots,n\}$.

Asumsi 5. Jika $\lambda(x) = x_k$ maka $\dot{x}_k = f_k(x_l, x_k)$ dapat diselesaikan dengan mensubstitusikan $x_l = y_d(t)$. Thus, $\lambda_d(t) = x_k(t)$.

Apabila Asumsi 5 tidak dipenuhi, artinya fungsi $\lambda_d(t)$ tidak dapat ditentukan secara eksplisit. Oleh karena itu $\lambda_d(t)$ akan dihampiri dengan menggunakan metoda optimasi heuristik. Dalam kesempatan ini kami memilih metoda Particle Swarm Optimization (PSO), yaitu dengan memisalkan $\lambda_d(t)$ sebagai deret Fourier :

$$\lambda_d(t) = \alpha + \sum_{i=1}^{N} \beta_i \sin(t) + \gamma_i \cos(t).$$

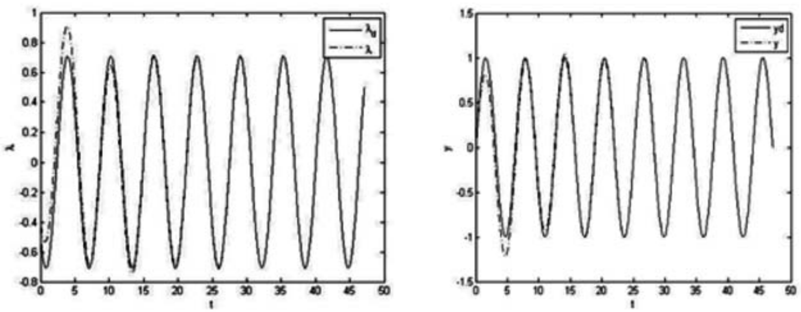
Dengan PSO, nilai dari α, β_i and γ_i untuk $i = 1 \cdots N$ sedemikian sehingga $\int_0^T (y(t) - y_d(t))\, dt$ mendekati nol.

Mari kita perhatikan contoh-contoh berikut ini.

1. Diberikan sistem kontrol taklinear berikut ini.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 + 2x_1^2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 + u \\ \dot{x}_3 &= x_1 + x_3 \\ y &= x_1; y_d(t) = \sin t. \end{aligned}$$

Dengan memilih $\lambda(x) = x_3$, sistem taklinear tersebut dapat dilinearisasi dengan eksak. Dengan $x_{1d}(t) = \sin(t)$ dan dari $\dot{x}_3 = x_{1d}(t) + x_3$ diperoleh $x_{3d}(t) = 1/2(-sin(t) - cos(t))$. Hasil simulasi diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4.: Kiri: Pelacakan Output (linearisasi eksak): $z_1(t)$ melacak $z_{1d}(t)$;
Kanan :Pelacakan Output (sistem asal): y melacak y_d.

2. Diberikan sistem taklinear

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + x_2 x_3 \\ \dot{x}_2 &= x_3 + u \\ \dot{x}_3 &= x_1 + x_3 \\ y &= x_1; y_d(t) = \sin t. \end{aligned} \tag{22}$$

Sistem ini mempunyai derajat relatif 2 dan tidak terdefinisi dengan baik. Hal ini dapat dilihat dari bentuk normal berikut.

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_1 &= \xi_2 \\ \dot{\xi}_2 &= \frac{\xi_1}{\eta}(\xi_1 + \xi_2 + \eta) + \eta^2 + \eta u \\ \dot{\eta} &= \xi_1 + \eta \end{aligned} \tag{23}$$

Selanjutnya, sistem (22) di atas masuk dalam kategori sistem berfase nonminimum karena dinamik nol dari sistem tidak stabil. Tetapi sistem pada persamaan (22) memenuhi teorema 1. Dengan mengambil: $\lambda(x)=x_3$, sistem taklinear (22) dapat dilinearkan secara eksak.

$$\dot{z}_1 = z_2$$
$$\dot{z}_2 = z_3$$
$$\dot{z}_3 = a(z) + b(z)u,$$

dengan $a(z) = x_3^2 + x_1 + x_3 + x_1x_2 + x_2x_3$, $b(z) = x_3$.

Teknik linearisasi input-output tidak dapat diaplikasikan ke sistem ini karena nilai dari $b(z) = x_3$ dapat menjadi nol untuk suatu z. Dengan memilih $\lambda(x) = x_3$, sistem taklinear tersebut dapat dilinearisasi dengan eksak. Kemudian dengan memisalkan $x_{1d}(t) = \sin(t)$ dan dari $\dot{x}_3 = x_{1d}(\mathrm{t}) + x_3$ diperoleh $x_{3d}(t) = 1/2(-sin(t) - cos(t))$.

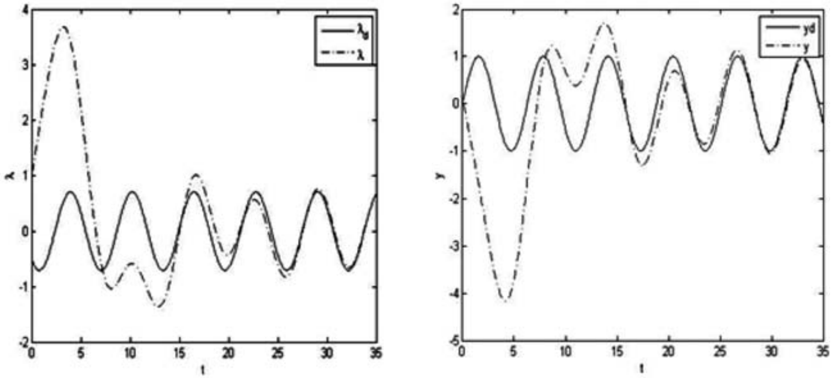
Selanjutnya diperoleh,

$$u_r(t) = (1/x_3(t))[y_d^{(3)}(t) - (a_0(z_1(t) - y_d(t)) + a_1(z_2(t) - \dot{y}_d(t)) + a_2(z_3(t) - \ddot{y}_d(t)) + a_2(z_3(t) - \ddot{y}_d(t)) - (x_3(t)^2 + x_1(t)) + x_3(t) + x_1(t)x_2(t) + x_2(t)x_3(t)). \quad (24)$$

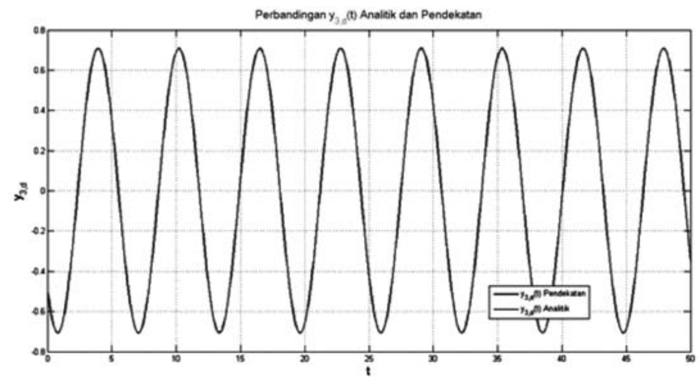
Karena nilai $x_3(t)$ tidak bisa dijamin tidak pernal nol maka perlu menggunakan kontrol jembatan polinom singularitas di sekitar titik singular $x(t_s)$ yaitu

$$u_{ps}(t) = \sum_{i=0}^{2} \frac{u^{(i)}(t_s)}{i!}(t - t_s)^i, t \in T_s.$$

Hasil simulasi diberikan dalam gambar 5. Selanjutnya pada Gambar 6 diberikan plot kurva $x_{3d}(t)$ yang diperoleh dengan analitik dan penghampiran melalui metoda PSO.



Gambar 5: Kiri: Pelacakan Output (linearisasi eksak): $z_1(t)$ melacak $z_{1d}(t)$; Kanan: Pelacakan Output (sistem asal): y melacak y_d.



Gambar 6: Perbandingan antara $x_{3,d}$ secara analitik dan $x_{3,d}$ secara hampiran

4. PENUTUP

Kontrol gradien descent yang dipaparkan dalam orasi ilmiah ini merupakan salah satu alternatif perancangan sistem kontrol untuk sistem kontrol taklinear umum. Selain untuk keperluan stabilisasi, kontrol gradien descent juga dapat digunakan untuk merancang sistem kontrol untuk pelacakan keluaran dari sebuah sistem taklinear. Dengan modifikasi kontrol gradien descent, metoda ini berhasil melacak keluaran dari sistem yang berfase non-minimum dimana dengan metoda linearisasi input-ouput tidak dapat dilakukan.

Selain memodifikasi kontrol gradien descent, dikembangkan juga metoda pendefinisian ulang keluaran sehingga diperoleh derajat relatif dari sistem sama dengan dimensi sistem. Dengan metoda ini teknik linearisasi input-output dapat digunakan untuk pelacakan output dari sistem dengan berbagai kasus, yaitu: sistem dengan derajat relatif yang terdefinisi dengan baik dan yang tidak terdefinisi dengan baik. Bila kasus yang terjadi adalah sistem dengan derajat relatif tidak terdefinisi dengan baik, jembatan polinom singularitas dapat membantu menyelesaikan masalah pelacakan output di sekitar titik singulir.

Pada masa yang akan datang, selain melanjutkan pengkajian kontrol gradient descent dengan memperlemah asumsi-asumsi yang ada, kami akan mengaplikasikan kontrol gradient descent ini untuk sistem taklinear yang memuat ketidakpastian *(uncertainty)* dan atau gangguan *(disturbance)*, baik untuk masalah stabilisasi maupun pelacakan keluaran.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pertama-tama kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terimkasih kepada Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar ITB atas kehormatan dan kesempatan yang diberikan sehingga kami dapat menyampaikan Orasi Ilmiah ini di dahapan hadirin sekalian.

Pada kesempatan yang berbahaia ini pula kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terimkasih kepada para guru dan pendidik atas jasa yang besar dan tulus ikhlas yang telah memberikan pendidikan dan pengajaran yang berkaitan dengan bidang akademik maupun dalam bidang kehidupan seharai-hari di SD Negeri Nagatimbul (Toba-Samosir), SMP Negeri Lumbanlobu (Toba-Samosir), SMA Negeri 5 Medan, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Keio, Jepang.

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tulus juga kami sampaikan kepada beliau yang mempromosikan kami, mendukung kami dan memberi masukan yaitu Prof. Leo Hari Wiryanto, Prof Salaman A. N., Prof. Intan Ahmad, Prof. Siswadi (IPB) dan Prof. Kiyotaka Shimizu, (Universitas Keio, Jepang), serta seluruh Staf Dosen dan Karyawan FMIPA-ITB. Secara khusus ucapan terimakasih dan penghargaan kami sampaikan kepada seluruh staf di KK Matematika Industri dan Keuangan FMIPA-ITB.

Terimakasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada Prof. Dr. S.M. Nababan, (Alm), Drs.R.J. Pamuntjak, M.Sc. atas bimbingan selama belajar di program studi Sarjana, Magister maupun Doktor ITB.

Demikian juga kepada Prof. Kiyotaka Shimizu atas bimbingan yang sangat berharga selama mengikuti program doctor di Universitas Keio, Jepang. Dan tak lupa saya ucapkan terimakasih kepada guru dan senior kami di Departemen Matematika (dulu)atas segala komunikasi yang baik yang selama ini dicontohkan kepada kami.

Terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada orang tua kami, ayahanda H. Naiborhu (alm.) dan ibunda Bertha Sirait, Ayah Mertua A.W. Panjaitan (alm.) dan ibu mertua M. Napitupulu, serta Abang, Adik, Ito dan Lae kami atas kasih sayang dan dukungannya.

Secara khusus terimakasih kami sampaikan kepada isteri tercinta, Siti Nurmala Panjaitan yang senantisa mendampingi, mengingatkan, dan memberi dukungan dalam menjalankan tugas dalam bidang pendidikan, dan anak-anakku tersayang Kesar Tulus Martogi Naiborhu, Kevin Kashikoi Naiborhu, dan Keiko Tamara Naiborhu.

BAHAN RUJUKAN :

1. J. Naiborhu and K. Shimizu, Direct Gradient Descent Control for Global Stabilization of General Nonlinear Systems, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, NO.3 March 2000, pp. 516-523.
2. K. Shimizu, H. Nukumi and S.Ito, Direct Steepest Descent Control of Nonlinear Dynamical Systems, in A. J Krener and D. Q. Mayne (eds.), Nonlinear Control System Design, 1995, 801/806, Pergamon, 1996.
3. D. Chen, An Iterative Solution to Stable Inversion of Nonminimum

Phase Systems. Proc. American Control Conference, page 2960-2964, June 1993.
4. D. Chen and B. Paden, Stable Inversion of Nonlinear Non-minimum Phase Systems, Int. J. Control, 1996, Vol.64, No.1, pp 81-87.
5. F.J. Doyle, III, F. Algower, and M. Morari, A Normal Form Approach to Approximate Input-Output Linearization for Maximum Phase Nonlinear SISO Systems, IEEE Transactions on Automatic Control, 41(2), pp 305-309, Feb. 1996.
6. N. H. Getz and J. Karl Hedrick, An Internal Equilibrium Manifold Method of Tracking for Nonlinear Nonminimum Phase Systems, Proceedings of the American Control Conference, Seattle, Washington, June 1995, pp 2241-2245.
7. N. H. Getz, Dynamic Inversion and the Control of Nonlinear Nonminimum Phase Systems (PhD thesis, University of California at Berkeley, 1995).
8. A, Isidori, Nonlinear Control Systems: An Introduction (Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1989, Second Edition).
9. J. Naiborhu, Output Tracking of Nonlinear Non-minimum Phase Systems by Gradient Descent Control, Proceedings of The IASTED International Conference Identification, Control, and Applications (ICA 2009), August 17-19, 2009, Honolulu, Hawaii, USA, 110-115.
10. R. Hirschorn and J. Davis. Output Tracking for Nonlinear Systems with Singular Points, SIAM J. Control and Optimization, vol 25, No. 3, May 1987, pp 547-557.

11. R. Hirschorn and J. Davis. Global Output Tracking for Nonlinear Systems, SIAM J. Control and Optimization, vol 26, No. 6, November 1988, pp 1321-1330.

12. Z. Retchkiman, J. Alvarez and R. Castro. Asymptot Output Tracking through Singular Points for Nonlinear Systems: Stability, Disturbance Rejection and Robustnees, International Journal of Robust and Nonlinear Control, Vol.5 , 1995, pp 553-572.

13. M. A. Fayaz. Singular Output Tracking by a Polynomial Approach, Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (CH3242-5) v.1 1993, pp 653-658.

14. A. Pavplov and K. Y. Pettersen, Stable Inversion of Nonminimum Phase Nonlinear Systems : A Convergent Systems Approach, Proc., 40th IEEE Conf. on Decision and Control, New Orleans, LA, USA, Dec., 12-14, 2007, pp. 3995-4000.

15. L. Consolini and M. Tosques, An Homotopy Method for Exact Tracking of Nonlinear Nonminimum Phase Systems: The example of the spherical inverted Pendulum, Proc., 2009 American Control Conference, St. Louis, MO, USA, June 10-12, 2009, pp. 4001-4006.

16. S. Baev, Y. Shtessel and I. Shkolnikov, HOSM driven output tracking in the nonminimum-phase causal nonlinear systems, Proc. 46th IEEE Conf. on Decision and Control, New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007, pp. 3715-3720.

17. J. Naiborhu, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control and Sontag's Formula on Asymptotic Stability of

General Nonlinear Control System, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 3, No. 2, June 2005, 244-251.

18. J. Naiborhu, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control as a Dynamic Feedback Control for Linear Systems, *Bulletin of the Malaysian Mathematical Science Society*, Vol. 29, No. 2 , 2006, pp. 131-146.

19. J. Naiborhu, Trajectory Following Method on Output Regulation of Affine Nonlinear Control Systems with Relative Degree not Well Defined, ITB J.Sci., Vol. 43 A, No.2, 2011, 73-86.

20. Janson Naiborhu, Firman and Khozin Mu'tamar, Particle Swarm Optimization in the Exact Linearization Technic for Output Tracking of Non-Minimum Phase Nonlinear Systems, Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, 2013, no. 109, 5427 – 5442.

21. Firman, Janson Naiborhu, Roberd Saragih, Modification of a steepest descent control for output tracking of some class non-minimum phase nonlinear systems, Applied Mahematics and Computation, v 269(2015), pp. 497-506.

22. J. Naiborhu and K. Shimizu, Stabilization of Single Input Nonlinear Control Systems by Gradient Descent Control Algorithm, in *Theory and Practice of Control and Systems, eds. A. Tornambe, G. Conte and A.M. Peron, Proc.6th IEEE Mediterranean Conf. On Control and Systems 1998*, pp. 544-549, Word Scientific, 1998.

23. J. Naiborhu, Dynamic Output Feedback Regulation for Affine Nonlinear Control Systems with Relative Degree is not well defined,

Proc. 2002 Information, Decision and Control, 11-13 February 2002, Adelaide, Australia, pp.359-364(CD-ROM)

24. J. Naiborhu, Determination of Initial Condition for Asymptotic Stability of Extended System in Nonlinear Control Systems, *Proceedings of the International Conference 2003 on Mathematics and Its Applications*, Gajah Mada University, 14-17 July, 2003, Yogyakarta, Indonesia, 277-284.
25. J. Naiborhu, Stabilization of Nonlinear Systems with Nonstabilizable Linearization by Direct Gradient Descent Control, *Proceedings of SICE Annual Conference*, August 4-6, 2003, Fukui, Japan, 2829-2832.

CURRICULUM VITAE

Nama	:	**JANSON NAIBORHU**
Tmpt. & tgl. lhr.	:	Bandartabu, 09 Maret 1965
Pekerjaan	:	Staf Pengajar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) ITB
Alamat Kantor	:	KK Matematika Industri dan Keuangan, FMIPA-ITB Jl. Ganesa 10, Bandung 40132 Telp. (022) 2502545 ext 105.
Nama Isteri	:	Siti Nurmala Panjaitan
Nama Anak	:	- Kesar Tulus Martogi Naiborhu - Kevin Kashikoi Naiborhu - Keiko Tamara Naiborhu

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Sarjana Matematika, ITB, Bandung, 1989
- Magister Matematika, ITB, Bandung, 1992
- Doktor Matematika, ITB, Bandung, 2005.

II. RIWAYAT PENUGASAN DI ITB DAN KEGIATAN PENUNJANG:

- Ketua Program Studi S2 Matematika,S2 Aktuaria,S3 Matematika, 2008-2009
- Ketua Program Studi Sarjana Matematika, 2010-2011

- Ketua Program Studi S2 Matematika,S3 Matematika, 2014-2015
- Ketua Tim Akreditasi Program Studi Sarjana Matematika FMIPA ITB, 2013
- Ketua Tim Akreditasi Program Studi Doktor Matematika FMIPA ITB, 2013
- Anggota Tim Akreditasi Nasional dan Internasional FMIPA ITB, 2013.
- Tim Ekivalensi Kurikulum 2013 di Lingkungan FMIPA ITB.
- Tim Persiapan Implementasi Kurikulum ITB Tahun 2013.
- Koordinator Matakuliah Kalkulus, TPB ITB, Sem I thn 2013.
- Sekretaris Tim Juri Pemilihan Ketua Program Studi Berprestasi Tingkat Nasional, 2012 dan 2013.
- Tim Pemilihan Ketua Program Studi Berprestasi, ITB Tahun 2013 (Anggota), 2014 (Ketua), 2015 (Ketua).
- Ketua Komunitas Matematika FMIPA ITB thn 2007 s/d 2015.
- Wakil Ketua IndoMS Jawa Barat-Banten, 2008-2010
- Koordinator Sektor UMPTN Rayon A Lokal thn 2003 s/d 2011
- Asessor BAN PT, 2007 s/d 2015.
- Laison Officer Pembangunan Gedung CAS (JICA) untuk Matematika, 2010 sd/ 2015
- Asessor Sertifikasi dosen thn 2012, 2013, 2014, 2015.
- Anggota Penyusun Proposal Lengkap PHK B, Evaluasi diri Prodi Matematika ITB tahun 2006.
- Koordinator Perpustakaan Departemen MA FMIPA-ITB 2003-2004
- PIC Proyek QUE 2002.
- Koordinator Kalkulus TPB ITB, 2001-2003
- Koordinator Asisten Departemen MA FMIPA-ITB, 2003-2004

- Dosen Pembimbing Kemahasiswaan, 1993-1994.

III. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL FMIPA-ITB:

- Guru Besar, 2014
- Lektor Kepala, 2003
- Lektor, 2001
- Lektor Muda, 1998
- Asisten Ahli,1994
- Asisten Ahli Madya, 1992

IV. KEGIATAN PENELITIAN

1. Model Chaos dari Masalah Vander Pol, OPF ITB, 1991/1992.
2. Conservation of Energy and Momentum of Numerical Solution of KdV-Type Differential equation, OPF ITB, 1992/1993
3. Numerical Analysis of Dynamics of Fourier Coefficients of Numerical Solution of the Power KdV equation, OPF ITB, 1993/1994
4. Analisis Numerik Dinamika Koefisien Fourier Pada Solusi Numerik PersamaanKdV, Lembaga Penelitian ITB No.13230194, dengan dana OPF tahun 1993/1994.
5. Pengefisienan Skema Numerik Masalah Perturbasi Singular Persamaan Diferensial KdV Pangkat Tinggi, Lembaga Penelitian ITB No.15780195, dengan dana OPF tahun 1994/1995.
6. Kontrol "Gradient Descent" pada Sistem Nonlinear yang tidak dapat distabilkan secara Asimtotik dengan Linearisasi, Project Grant, Sub Project QUE Matematika, 2002.
7. Evaluasi Kinerja Sistem Telefon Bergerak Seluler di Indonesia, Project Grant, Sub Project QUE Matematika, 2004.

8. Performance Analysis of Cellular Mobile Telecommunication Network with Dynamic Cell Splitting, Asahi Glass Foundation, tahun 2005.
9. Insentif Penerbitan Artikel Pada Jurnal Internasional, Dir. Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Dikti, DepDikNas, 2006
10. Pelacakan Keluaran Sistem Taklinear erfase Nonminimum Dengan Kendali Gradient Descent, Hibah Penelitian Fundamental, DP2M-DIKTI, 2007.
11. Output Tracking of Nonlinear Non-minimum Phase Systems Through Exact Linearization, Riset ITB tahun 2013.
12. Iterative Learning Control Berdasarkan Modified Steepest Descent Untuk Pelacakan Keluaran Sistem Taklinear, Riset Unggulan Perguruan Tinggi (Fundamental) 2013.
13. Pelacakan Keluaran Pada suatu Kelas Sistem Taklinear Berfase Non-minimum Melalui Redefinisi keluaran, Riset Inovasi KK 2015.

V. PUBLIKASI:

1. J. Naiborhu and K. Shimizu, Direct Gradient Descent Control for Global Stabilization of General Nonlinear Systems, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, NO.3 March 2000, pp. 516-523.
2. J. Naiborhu, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control and Sontag's Formula on Asymptotic Stability of General Nonlinear Control System, International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol. 3, No. 2, June 2005, 244-251.
3. J. Naiborhu, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Direct Gradient Descent Control as a Dynamic Feedback Control for Linear Systems, Bulletin of the Malaysian Mathematical Science Society, Vol. 29, No. 2 , 2006, pp. 131-146.
4. J. Naiborhu, Trajectory Following Method on Output Regulation of Affine Nonlinear Control Systems with Relative Degree not Well Defined, ITB J.Sci., Vol. 43 A, No.2, 2011, 73-86.
5. Janson Naiborhu, Firman and Khozin Mu'tamar, Particle Swarm Optimization in the ExactLinearization Technic for Output Tracking of Non-Minimum Phase Nonlinear Systems, Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, 2013, no. 109, 5427 – 5442.
6. Miswanto, J. Naiborhu, S. Achmadi, ANALYSIS SWARMING BEHAVIOR OF MULTI-AGENTS, International Journal of Differential Equations and Applications Volume 14 No. 1 2015, 43-51
7. Firman, Janson Naiborhu, Roberd Saragih, Modification of a steepest descent control for output tracking of some class non-minimum phase nonlinear systems, Applied Mahematics and Computation, v 269(2015), pp. 497-506.
8. J. Naiborhu and E. Soewono, A Numerical Schema for the Power KdV, Suplemen Proceeding ITB, 1993.
9. J. Naiborhu, J.M. Tuwankotta and Barbera van de Fliert, Train rescheduling in case of trouble, Proc. ITB, Vol.33, N0. 1, 2001 SUPLEMEN , pp. 65-78
10. J. Naiborhu, S.M. Nababan, R. Saragih and I. Pranoto, Application of the Direct Gradient Descent Control for Stabilization of Nonlinear Systems with Nonstabilizable Linearization via Two Examples, MIHMI vol. 11 no. 2 tahun 2005.
11. R. Hadianti, J. Naiborhu, and L. Dahliantini, Penggunaan Matrix Analytic Technique pada Perhitungan Parameter Kinerja Proses Handoff, Proceedings ITB Sains & Teknologi, Vol.37 A, No. 1, 2005,

pp.49-68

12. H. Tjahjana, I, Pranoto, H. Muhammad and J. Naiborhu, On the Optimal Control Computation of Linear Systems, Journal of the Indonesian Mathematical Society, vol. 15, no. 1, 2009, pp. 13-20.
13. H. Tjahjana, I, Pranoto, H. Muhammad and J. Naiborhu, Aplikasi Optimasi Trajektori Sistem Dua Agen Linear dengan Metoda Steepest Descent pada Pengendalian Dua Kapal, Jurnal Teknik Mesin, vol. 8, no. 2, Edisi Mei 2008, pp. 99-106.
14. J. Naiborhu, Polynomial Bridge Singularity in Output Tracking Control Design, Proceeding of The 5th Scientific Meeting of Indonesian Students Association in Japan, Tokyo, August 29th, 1996 (ISSN 0918-7685), pp.A-6--A-11
15. J. Naiborhu, Gradient Descent Control for Stabilization of Single Input General Nonlinear Control Systems, Proceedings of the Scientific Meeting, Indonesian Student for Science and Technology in Japan, Tekno'98, March 7, 1998 (ISSN 0853-7747), pp. 151-154
16. K. Shimizu, K. Otsuka and J. Naiborhu, Improved Direct Gradient Descent Control of General Nonlinear Systems, Proc. of European Control Conference, ECC'99 (CD-ROM) No. F676.
17. J. Naiborhu and K. Shimizu, Stabilization of Single Input Nonlinear Control Systems by Gradient Descent Control Algorithm, in Theory and Practice of Control and Systems, eds. A. Tornambe, G. Conte and A.M. Peron, Proc.6th IEEE Mediterranean Conf. On Control and Systems 1998, pp. 544-549, Word Scientific, 1998.
18. J. Naiborhu, Output Tracking of Nonlinear Control Systems by Gradient Descent Control Algorithm, Proceedings of The 8^{th} Scientific Meeting, Indonesian Students Association In Japan, Osaka, September 3-4, 1999, (ISSN 0918-7685), pp. 45-48.
19. J. Naiborhu, Direct Gradient Descent Control For Global Stabilization of General Nonlinear Control Systems (single Input Case), Proceedings of The 8^{th} Scientific Meeting, Indonesian Students Association In Japan, Osaka, September 3-4, 1999, (ISSN 0918-7685), pp. 49-52.
20. J. Naiborhu, Dynamic Output Feedback Regulation for Affine Nonlinear Control Systems with Relative Degree is not well defined, Proc. 2002 Information, Decision and Control, 11-13 February 2002, Adelaide, Australia, pp.359-364(CD-ROM)
21. J. Naiborhu, Determination of Initial Condition for Asymptotic Stability of Extended System in Nonlinear Control Systems, Proceedings of the International Conference 2003 on Mathematics and Its Applications, Gajah Mada University, 14-17 July, 2003, Yogyakarta, Indonesia, 277-284.
22. J. Naiborhu, Stabilization of Nonlinear Systems with Nonstabilizable Linearization by Direct Gradient Descent Control, Proceedings of SICE Annual Conference, August 4-6, 2003, Fukui, Japan, 2829-2832.
23. H. Tjahjana, Iwan Pranoto, Hari Muhammad, Janson Naiborhu dan Miswanto, The numerical Control Design for a Pair of Dubin's Vehicles,Proceding of International Conference of Intelegence Unmaned System 2007 (ICIUS), 305-307.
24. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and J. Naiborhu, Linear Model of Swarm Movement, Proceeding of Regional Conference on Aerospace, Technology and Industry, (RC-ASTI 2007).
25. H. Tjahjana, I. Pranoto, H. Muhammad, and J. Naiborhu, Swarm with Triangle Formation, Proceeding of International Conference on Mathematics and Natural Sciences2006, 29-30 November 2006,

andung, Indonesia, pp. 778-780.

26. J. Naiborhu, Output Tracking of Nonlinear Non-minimum Phase Systems by Gradient escent Control, Proceedings of The IASTED International Conference Identification, Control , and Applications (ICA 2009), August 17-19, 2009, Honolulu, Hawaii, USA, 110-115.
27. Janson Naiborhu, Iterative Learning Control Based Gradient Descent Control for Output Tracking Nonlinear Non-minimum Phase Systems, Proceedings of SICE Annual Conference2010, August 18-21, 2010, The Grand Hotel, Taipei, Taiwan, 1592-1594.
28. Janson Naiborhu, Iterative Learning Control Based on Modified Steepest Descent Control For Output Tracking of Nonlinear Non-minimum Phase Systems, Procedings of WCICA 2012, Beijing, July 6-8, 2012.
29. Janson Naiborhu and Firman, Output Tracking of Non-minimum Phase Nonlinear Systems Through Exact Linearization, Procedings of WCECS 2013 Vol II, San Fransisco, October 23-25, 2013.
30. Handayani, D.; Nuraini, N.; Saragih, R.; Wijaya, K. P.; Naiborhu, J., Optimal Intravenous Infusion To Decrease The Haematocrit Level In Patient of DHF Infection, AIP Conference Proceedings;2014, Vol. 1587, p38
31. J. Naiborhu, Kontrol "Gradient Descent", in Majalah Ilmiah Himpunan Matematika Indonesia (MIHMI), ISSN 0854-1380, Vol.6, No.5, 2000, pp. 463-472. (Prosiding Konperensi Nasional Matematika X,ITB, 17-20 Juli 2000)
32. R. Hadianti, J. Naiborhu and L. Dahliantini, Optimisasi Reservasi Kanal untuk Proses Handoff pada system Komunikasi Bergerak Seluler, Proseding Konperensi Nasional Matematika XII tahun

2004, pp.399-411.

33. J. Naiborhu, Kontrol Umpanbalik Output Dinamik untuk Stabilisasi Sisyem Nonlinear, Proseding Konperensi Nasional Matematika XIII tahun 2006, pp. 725-730.
34. Heru Tjhjana, Iwan Pranoto, Hari Muhammad, Janson Naiborhu dan Miswanto,Simulasi Numerik Gerak Coordinated Turn Pada Pesawat Terbang, Prosidig Seminar Nasional Teknologi Simulasi(Teknosim 2007), F 112-F115.s

VI. PRESENTASE DI PERTEMUAN ILMIAH

1. The 5th Scientific Meeting of Indonesian Students Association in Japan, Tokyo, August 29th, 1996.
2. The Scientific Meeting, Indonesian Student for Science and Technology in Japan, Tekno'98, March 7, 1998
3. The 6th IEEE Mediterranean Conf. On Control and Systems, 1998, Alghero, Italy.
4. The 8th Scientific Meeting, Indonesian Students Association In Japan, Osaka, September 3-4, 1999.
5. 2002 Information, Decision and Control, 11-13 February 2002, Adelaide, Australia.
6. the International Conference 2003 on Mathematics and Its Applications, Gajah Mada University, 14-17 July,
7. SICE Annual Conference, August 4-6, 2003, Fukui, Jepang.
8. SEAMS – Gadjah Mada University, International Conference on Mathematics and Its Applications at Gadjah University, Yogyakarta, Indonesia, July 24th – 27th, 2007.
9. The 3rd IMT-GT 2007, Regional Conference on Mathematics, Statistics and Applications, Penang, Malaysia, Desember 5-6,

2007.

10. The IASTED International Conference Identification, Control , and Applications (ICA 2009), August 17-19, 2009, Honolulu, Hawaii, USA
11. SICE Annual Conference 2010, August 18-21, 2010, The Grand Hotel, Taipei, Taiwan.
12. WCICA 2012, Beijing, July 6-8, 2012.
13. WCSCS 2013, San Fransisco, October 23-25, 2013.
14. Konperensi Nasional Matematika X, 17-20 Juli 2000, Departemen Matematika, ITB
15. Konferensi Nasional Matematika XII, 23-27 Juli 2004, Jurusan Matematika, Universitas Udayana, Bali.
16. Konferensi Nasional Matematika XIII, Juli 2006, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Negeri Semarang.
17. Konferensi Nasional Matematika XIV, 24-27 Juli 2008, Universitas Sriwijaya Palembang.