

OPTIMASI KONTROL MUKA AIR TANAH DENGAN SISTEM KENDALI FAZI SEDERHANA

O.B.A. Sompie, F. Manoppo, B. F. Sompie¹⁾

ABSTRACT

This paper proposes a method for controlling groundwater level in order to maintain a certain desired height by using a simple fuzzy control system. The control signal is determined by evaluating the state of water surface height deviation from the desired height on a 4 quadrant phase plane. The control signal is then used to determine the number of drainage or irrigation pumps, which must be operated. Simulation using actual data from the field shows that the proposed method is very effective to maintain the desired height of water surface. This method is very easily implemented using personal computer or a microcontroller, or up-loaded a PLC (Programmable Logic Controller).

PENDAHULUAN

Pengguna air di dunia cenderung meningkat sejalan dengan perkembangan jumlah penduduk, perubahan taraf hidup masyarakat dan perkembangan usaha-usaha yang memerlukan air. Pengelolaan lahan basah untuk produksi parigan merupakan salah satu masalah yang kompleks dan mendesak penyelesaiannya dalam sistem teknik pertanian moderen. Ketersediaan air yang cukup melimpah belum menyelesaikan masalah, karena adanya spesifikasi lingkungan lokal baik tanah itu sendiri maupun kondisi iklimnya. Pengelolaan lahan menghadapi beberapa kendala diantaranya dalam penentuan pola pengaturan air, pola pencegahan keasaman dan pola penanaman yang optimum dengan memerhatikan keberlanjutan produksi, Pengendalian tata air biasanya dilakukan dengan membuat sistem irigasi dan drainase yang dilakukan secara gravitasi. Akan tetapi metode itii tidak memadai bila digunakan pada lahan yarig berada pada wilayah yang relative datar dan cenderung selalu tergenang air. Selanjutnya akan lebih ekstrim lagi bila pola fluktuasi air tanah yang langsung dipengaruhi oleh hujan lokal atau pasang surut.

Untuk Menjamin tinggi permukaan air tanah yang diinginkan pada kondisi semacam itu, maka diperlukan pompa irigasi dan pompa drainase yang dapat dioperasikan sesuai dengan keperluan. Menggunakan pompa manual masih kurang memadai karena pola keseimbangan air yang sulit diperkirakan, dengan terbatasnya kemampuan dan keandalan operator lapangan. Karena itu, implementasi system kendali perlu dilakukan dalam pengendalian muka air tanah. Sistem pengendalian muka air tanah dengan menggunakan teknik kendali fazi (*fuzzy logic control*) adalah model system yang digunakan merupakan system non linear yang dirumuskan dari data actual di lapangan. Dengan system kendali fazi, model yang diperlukan sebagaimana adanya tanpa memerlukan penyederhanaan.

¹⁾ Dosen di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNSRAT, Manado

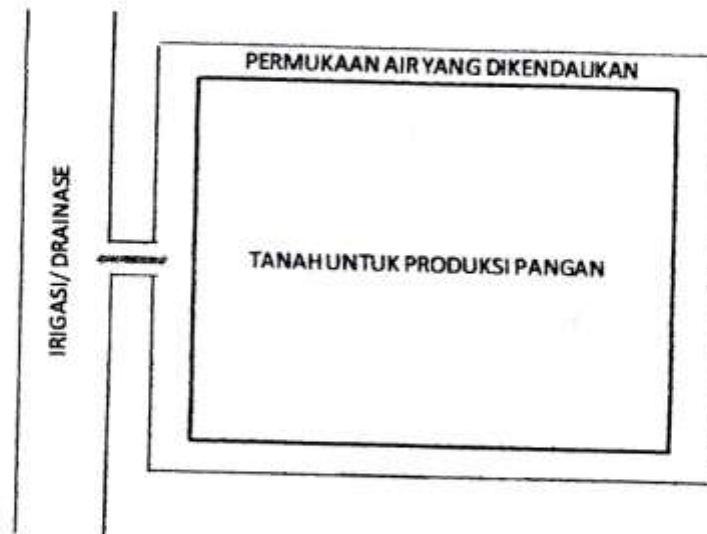
Metode yang digunakan sangat sederhana dan mudah diimplementasikan dengan perangkat computer pribadi, mikrokontroler maupun *Program Logic Controller* (PLC). Simulasi dengan menggunakan model non-linear yang didasarkan pada data actual dilapangan menunjukkan bahwa system kendali fazi yang disarankan sangat efektif dalam mendapatkan tinggi permukaan air tanah pada level yang diinginkan dan memungkinkan untuk pengontrolan saat kekurangan air dan kelebihan air atau banjir pada lahan sawah.

MODEL SISTEM

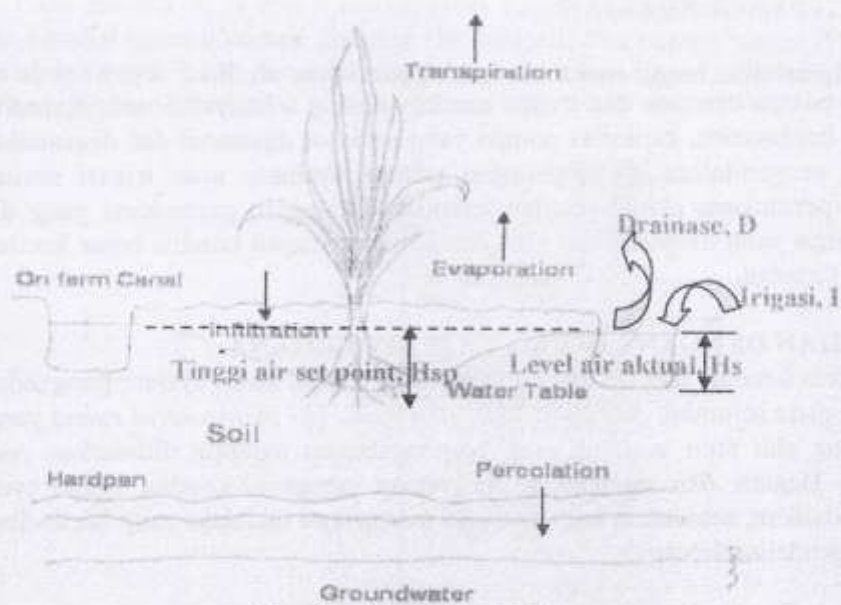
Model system digunakan satu petak lahan pasang surut yang di tunjukan pada Gambar 1. Karakteristik ketinggian muka air disalurkan tersier pada lahan ini diperlihatkan pada Gambar 2 yang diperoleh dari data actual dilapangan (Susanto dan Musiimi, 1997). Karakteristik didekati dengan persamaan polynomial *piece-wise* pangkat tiga,

$$h_i(t) = a_i + b_i t + c_i t^2 + d_i t^3 \quad (1)$$

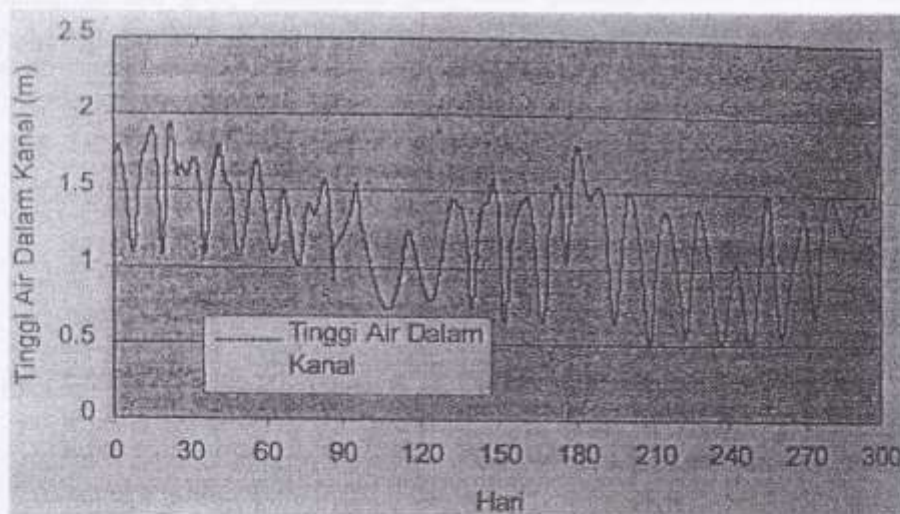
Dengan, a, b, c, dan d adalah konstanta *piece-wise* polynomial, h adalah ketinggian muka air tanah pada pengambilan data ke- i .



Gambar 1a. Skema Petakan



Gambar 1b. Tampak Lahan



Gambar 2. Pola tinggi air harian suatu lahan pasang surut

STRATEGI PENGENDALIAN

Pengendalian tinggi muka air tanah pada lahan produksi seperti pada Gambar 1, disediakan pompa drainase dan irigasi masing-masing sebanyak 5 unit. Kapasitas pompa ditentukan berdasarkan kapasitas pompa yang terdapat dipasaran dan disesuaikan dengan kebutuhan pengendalian. Pengoperasian pompa drainase atau irigasi sesuai dengan ketinggian permukaan aktual relative terhadap ketinggian permukaan yang diinginkan. Jumlah pompa yang dioperasikan juga disesuaikan dengan kondisi besar kecilnya selisih ketinggian tersebut.

PEMECAHAN DENGAN LOGIKA FAZI SEDERHANA

Sistem kendali fazi (*Fuzzy logic control*) adalah suatu system pengendalian yang didasarkan pada sejumlah aturan kendali jika-maka (*if-then control rules*) yang disusun oleh seorang ahli atau seorang yang berpengalaman maupun didasarkan pada proses penyetelan. Bagian *Jika* merupakan pernyataan mengenai kondisi aktual system yang akan dikendalikan, sementara bagian *Maka* merupakan tindakan yang harus diambil agar tujuan pengendalian tercapai.

Makalah ini menggunakan metode sistem kendali fazi sederhana yang prinsip pengendaliannya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 kondisi (*state*) volume air pada lahan yang akan dikendalikan direpresentasikan dengan deviasi E dan perubahan deviasi ΔE dari nilai aktual terhadap nilai yang diinginkan, yang diamati pada setiap waktu sampling T . Untuk memudahkan pengamatan keadaan volume air, nilai E dan ΔE diubah dalam koordinat polar D dan θ dari titik p (D, θ) dengan hubungan sebagai berikut:

$$D_k = \sqrt{E_k^2 + f_1^2 \Delta E_k^2} \quad (2)$$

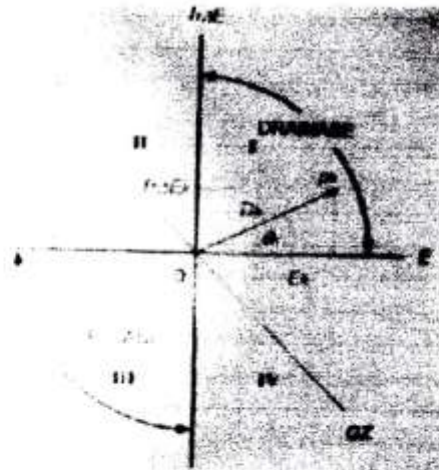
$$\theta_k = \cos^{-1} \frac{E_k}{D_k} \quad (3)$$

$$kT \leq t < (k+1)T \quad (4)$$

dengan, D adalah magnitudo, θ adalah sudut fasa, f_1 adalah parameter yang dapat di atur, t adalah waktu dan $k = 1, 2, 3, \dots$

Pengoperasian pompa drainase atau pompa irigasi tergantung pada posisi vector Dk dalam bidang fasa dan magnitudonya. Bila Dk berada pada kuadran I, ini berarti bahwa ketinggian muka air berada pada level yang lebih tinggi dari pada ketinggian yang diinginkan. Disamping itu jumlah air cenderung bertambah, karena air masuk ke lahan. Ini berarti pompa drainase harus di operasikan untuk mengurangi volume air di lahan dan mengusahakan agar level ketinggian muka air dapat mencapai level yang diinginkan, yaitu titik 0 secepat mungkin. Sebaliknya bila Dk berada pada Kuadran ke III, berarti level air berada pada level yang paling rendah daripada ketinggian air yang diinginkan. Disamping itu jumlah air cenderung berkurang, karena air mengalir keluar lahan, berarti pompa irigasi harus di operasikan untuk menambah volume air di lahan dan mengusahakan agar level ketinggian permukaan air dapat mencapai level yang diinginkan secepat mungkin. Kuadran II dan IV merupakan daerah dimana pompa irigasi dan drainase dapat beroperasi, sedangkan disepanjang garis zero GZ pompa irigasi atau drainase sama sekali tidak beroperasi, Garis GZ merupakan garis perpindahan pengoperasian dari drainase ke irigasi atau sebaliknya. Berdasarkan logika aturan diatas,

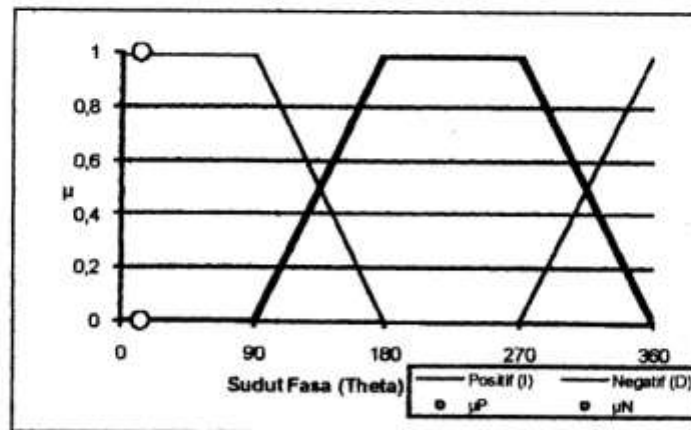
dapat dibuat suatu fungsi keanggotaan fazi dari sudut fasa θ seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada gambar 4, N dan P adalah label fungsi keanggotaan sudut fasa, yang menunjukkan kondisi operasi pompa drainase (N: Negatif) dan pompa irigasi (P: Positif), μ_N dan μ_P adalah *grade* yaitu derajat keanggotaan sudut fasa θ terhadap label N dan P dari fungsi keanggotaan tersebut.



Gambar 3. Diagram Bidang Fase untuk Menetapkan Strategi Kendali Fazi

Pada fungsi keanggotaan seperti Gambar 4, maka sinyal kendali setara dengan inferensi sebagai berikut:

$$U_k \approx \frac{\mu_N - \mu_P}{\mu_N + \mu_P} \quad (5)$$

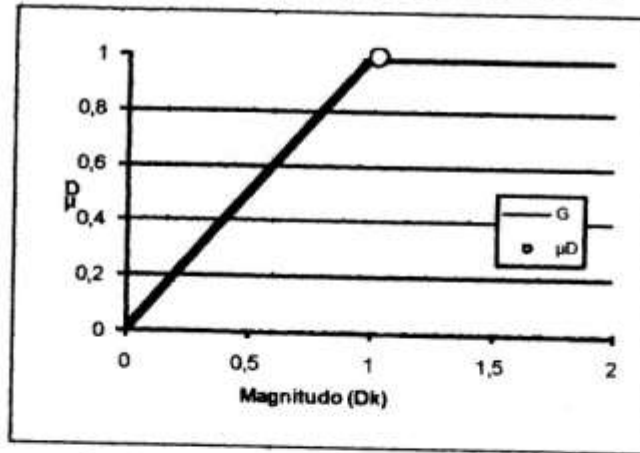


Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Sudut Fasa θ

Selanjutnya terhadap magnitudo D_k sinyal U_k akan membesar dengan membesarnya D_k serta mengecil dengan mengecilnya nilai tersebut. Berdasarkan logika ini dapat dibuat suatu fungsi keanggotaan seperti ditunjukkan pada Gambar 5. G adalah label fungsi keanggotaan magnitudo D_k , yang menunjukkan banyaknya air yang harus dipompakan dari atau ke lahan, U_D adalah *grade* yaitu derajat keanggotaan magnitudo D_k terhadap fungsi keanggotaan tersebut. Berdasarkan pada fungsi keanggotaan pada gambar 5, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sinyal kendali setara dengan derajat keanggotaan D_k atau.

$$U_k = \mu_D \quad (6)$$

Nilai maksimum sinyal kendali dibatasi pada suatu nilai U_m yang besarnya disesuaikan nilai optimalnya dari hasil penyetelan dan kelayakannya secara teknis.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Magnitudo

Dengan menggabungkan semua logika yang dijelaskan diatas, kita dapatkan suatu formula inferensi fazi untuk menentukan U_k sebagai berikut:

$$U_k = \frac{\mu_N - \mu_P}{\mu_N + \mu_P} \mu_D U_m \quad (7)$$

Dari hubungan,

$$\mu_P = 1 - \mu_N \quad (8)$$

Maka didapat suatu bentuk sederhana sebagai berikut :

$$U_k = (1 - 2\mu_N) \mu_D U_m \quad (9)$$

Dalam makalah ini, nilai $f \gg 1$, adaiiah jumlah pompa yang digunakan. Dengan demikian dapat digunakan hubungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -U_m = U_k &\Rightarrow P_D = U_m \\ -U_m < U_k < -U_m + 1 &\Rightarrow P_D = U_m - 1, U_m > U_k > U_m - 1 \Rightarrow P_I = U_m - 1 \\ U_m > U_k &\geq U_m - 1 \Rightarrow P_I = U_m - 1 \\ U_k = U_m &\Rightarrow P_I = U_m \end{aligned} \quad (10)$$

dimana, P_I adalah pompa nigasi dan P_D adaiiah pompa drainase yang harus dioperasikan.

MENSET PARAMETER UNTUK OPTIMASI PENGENDALIAN

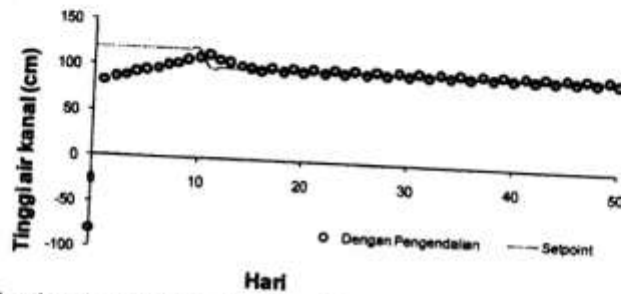
Dalam mengoptimalkan hasil pengendalian parameter fazi, yaitu f_1 dan f_2 seperti penjelasan sebelumnya harus diset pada nilai yang meminimumkan suatu indeks performansi tertentu. Dalam tulisan ini indeks performansi I_p dipilih sebagai persamaan berikut.

$$I_p = \sum_{k=1}^n E_k^2 \quad (11)$$

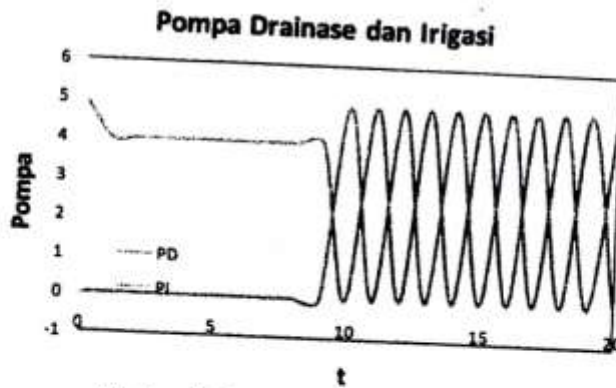
dimana, n adalah jumlah data. Dengan menggunakan I_p ini akan didapat parameter f_1 dan f_2 yang optimal bagi pengendalian. Walaupun kapasitas dan jumlah pompa mempengaruhi nilai I_p

SIMULASI KOMPUTER

Simulasi komputer dalam program ini menggunakan program kendali yang ditulis dalam bahasa pemrograman Microsoft Excel 2007 dengan fasilitas VBE (*Visual Basic Editor*). Gambar 6 menunjukkan pola tinggi muka air kanal dengan pengendalian. Sumbu vertikal menunjukkan ketinggian muka air tanah, dimana ketinggian 1,5 m dari permukaan tanah. Pola ini akan dikendalikan untuk memperoleh ketinggian 1,00 m atau 0,50 m di bawah permukaan tanah, namun dengan pola yang ditunjukkan pada Gambar 6 terlihat titik *setpoint* 1,00 m dapat didekati secara konsisten pada sepanjang setelah hari ke 10, sedikit terjadi deviasi sebesar 0,20 m. Deviasi terjadi karena terbatasnya jumlah pompa yaitu 5 unit masing-masing untuk pompa drainase dan irigasi dengan kapasitas $1\text{ m}^3/\text{jam}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Jadi system kendali fazi sederhana yang diusulkan dapat mengendalikan tinggi muka air tanah dengan efektif.



Gambar 6. pola tinggi muka air kanal dengan pengendalian



Gambar 7. Pompa Drainase dan Irigasi

Ada beberapa nilai yang dapat diset dalam program ini, untuk mendapatkan nilai yang terbaik. Nilai-nilai yang dapat di set: f_1 dan f_2 , serta U_m (Jumlah pompa) dan Q_p (Kapasitas pompa).

Tabel 1. Beberapa parameter fazi yang di set dan nilai indeks performansinya.

f_1	f_2	I_p
1	1	6131
0.5	1	6019
0.05	1	5895
0.05	0.75	5895
1	0.75	6131
1	0.5	6131

(Untuk $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $U_m = 5$)

Dengan mengubah nilai f_1 dan f_2 , nilai Indeks Performansi, I_p dapat diminimumkan (lihat tabel 1).

KESIMPULAN

Sistim pengendalian air yang optimal akan dapat menjamin terhadap tuntutan lingkungan hidup yang lebih baik dalam peningkatan kebutuhan akan prasarana dan sarana penyediaan air. Metode kendali fazi sederhana dapat mengendalikan permukaan air tanah pada lahan produksi pangan. Mengubah nilai f_1 dan f_2 , dapat diminimumkan nilai Indeks Performansi, I_p . Metode yang digunakan sangat sederhana, sehingga dapat dengan mudah diimplementasikan dengan bahasa pemrograman Microsoft Excel 2003 dengan fasilitas VBE (*Visual Basic Editor*).

DAFTAR PUSTAKA

- Bear, J and A. Verruijt**, "Modelling Grounwater Flow and Polution", Dordrecht, Reidel Publishing Company, Holland, 1987.
- Setiawan, B.I.**, "Prediksi Air Tanah dan Konsentrasi Bahan Pencemar Dalam Akifer dengan Metode Finite Elemen", Presiding Seminar Pengelolaan dan Pemanfaatan Air Tanah Berwawasan Lingkungan di Daerah Pesisir, BPFr, Jakarta 25-26 Oktober 1995.
- Saptomo, S. K.**, "Tata Air Lahan Basah dengan Sistem Kendali Fuzzy", Thesis Master, Program Pascasarjana IPB, Bogor, 1999,
- Sugeno**, "Fajii Seigyo", Nikken Kogyo Shinbunsha, Tokyo, 1988 (Bhs Jepang).
- Susanto, R.H and Muslimi**. 1997. Water Resources Development and Possible Cropping Pattern On The Reclaimed Tidal Swamps In Indonesia. Proceedings 7th International Drainage Workshop. Vol (3). Nov. 17-21 Penang, Malaysia.

Lampiran Penjelasan Program Kontrol Fuzzy untuk pengendalian muka air tanah

Microsoft Visual Basic - Berty Fuzzyble di Nama 2suh - [Sheet1 (Code)]

Project: VBAProject

Properties - Sheet1

Sheet1 Worksheet

Alphabetic	Categorized
Sheet1	Sheet1
DisplayPageBreaks	False
DisplayRightToLeft	False
EnableAutoFilter	False
EnableCalculation	True
EnableFormalConditions	True
EnableOutlining	False
EnablePrintTable	False
EnableSelection	0 - NoRestrictions
Name	Fuzzy
ScrollArea	
StandardWidth	8,43
Visible	-1 - Visible

```

Private Sub CommandButton1_Click()
    Um = Sheet1.Cells(33, 3)
    Miodum = Sheet1.Cells(28, 11) * Um
    Uk = Fix((1 - (2 * Sheet1.Cells(28, 7))) * Miodum)
    If Uk < 0 And Uk > -Um Then PDrain = Abs(Uk): Piri = 0
    If Uk > 0 And Uk < Um Then Piri = Uk: PDrain = 0
    If Uk = Um Then Piri = Um: PDrain = 0
    If Uk = -Um Then PDrain = Um: Piri = 0
    Sheet1.Cells(33, 2) = Uk
    Sheet1.Cells(33, 4) = PDrain
    Sheet1.Cells(33, 5) = Piri
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
    t = Sheet2.Cells(3 + 1, 1)
    Hsp = Sheet2.Cells(3 + 1, 2)
    Er = H0 - Hsp
    dEr = (Er - Er0) / dt
    teta = Theta(fe1, Er, dEr)
    plus = Positif(teta)
    minus = 1 - plus
    deks = Dk(fe1, Er, dEr)
    magnit = Magnitudo(deks, fe2)
    uka = Ukk(um, minus, magnit)
    Pdrainase = Pout(uka, um)
    Pirigasi = Pin(uka, um)
    If Pdrainase = 0 Then ref = Pirigasi * Qp
    If Pirigasi = 0 Then ref = -Pdrainase * Qp
    Sheet1.Cells(33, 2) = uka
    Sheet1.Cells(33, 4) = Pdrainase
    Sheet1.Cells(33, 5) = Pirigasi
    Ht = (H0 * Area) + ref
    H0 = Ht
    Er0 = Er
    
```

Microsoft Visual Basic - Bertu Fuzzy, d Kana Zaak - [Sheet1 (Code)]

Project - VBAProject X

Microsoft Excel Objects

- Sheet1 (Fuzzy)
- Sheet2 (Data Level Air)
- Sheet3 (Real Kontrol)
- ThisWorkbook
- Modules

Properties - Sheet1 X

Sheet1 Worksheet

Alphabetic Categorized

Name	Sheet1
DisplayPageBreaks	False
DisplayRightToLeft	False
EnableAutoFilter	False
EnableCalculation	True
EnableFormatConditions	True
EnableOutlining	False
EnablePivotTable	False
EnableSelection	0 - NoRestrictions
Name	Fuzzy
ScrollArea	
StandardWidth	8,43
Visible	-1 - xlSheetVisible

(General) (Declarations)

```

minus = 1 - plus
deka = Dk(fe1, Er, dEr)
mognit = Magnitudo(deka, fe2)
uka = Uk(ues, minus, mognit)
Pdrainase = Pout(uka, ues)
PIrigasi = Pin(uka, ues)
If Pdrainase = 0 Then ref = PIrigasi * Qp
If PIrigasi = 0 Then ref = -Pdrainase * Qp
Sheet1.Cells(33, 2) = uka
Sheet1.Cells(33, 4) = Pdrainase
Sheet1.Cells(33, 5) = PIrigasi
ref = Qp * uka
Ht = (H0 * Area) + ref
H0 = Ht
Er0 = Er
Sheet1.Cells(23, 2) = Ht
Sheet1.Cells(24, 3) = Hsp
Sheet1.Cells(23, 4) = Er0
Sheet1.Cells(23, 6) = c
Sheet1.Cells(28, 2) = Er
Sheet1.Cells(28, 3) = dEr

Sheet2.Cells(3 + i, 3) = Ht
Sheet2.Cells(3 + i, 4) = Er
Sheet2.Cells(3 + i, 5) = Pdrainase
Sheet2.Cells(3 + i, 6) = PIrigasi
Sheet2.Cells(3 + i, 7) = Er ^ 2
S = S + Er ^ 2
Sheet2.Cells(3 + i, 8) = S
Sheet1.Cells(33, 2) = uka
1 = 1 + 1
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
data
CommandButton2.Enabled = True
End Sub

```

