

PEMBAGIAN KELAS KULIAH MAHASISWA MENGUNAKAN ALGORITMA PENKLAUSTERAN FUZZY

Helmy Yulianto Hadi⁽¹⁾, R. Rizal Isnanto⁽²⁾, Budi Setiyono⁽²⁾

Abstrak - Proses perkuliahan di suatu universitas menjadi kurang efektif jika seluruh mahasiswa tergabung dalam satu kelas dengan satu orang dosen sebagai pengajar. Pembagian kelas biasanya dilakukan berdasarkan nomor induk mahasiswa. Dengan pendekatan pengklasteran *fuzzy*, pembagian kelas dapat dilakukan berdasarkan nilai prestasi mahasiswa pada mata kuliah yang menjadi prasyarat untuk menempuh mata kuliah yang baru. Mata kuliah yang dimaksud yaitu Dasar Sistem Kontrol dengan mata kuliah Prasyarat berupa Kalkulus I, Kalkulus II, Rangkaian Listrik I, dan Rangkaian Listrik II.

Pengklasteran mahasiswa-mahasiswa dalam mata kuliah Dasar Sistem Kontrol sesuai persepsi berdasarkan pada penguasaan mata kuliah prasyarat. Untuk mengukur tingkat penguasaan masing-masing mahasiswa yaitu berdasarkan nilai yang diperoleh oleh mahasiswa tersebut, yang di Universitas Diponegoro dibagi menjadi delapan kategori yaitu A, AB, B, BC, C, CD, D, dan E. Nilai-nilai tersebut sama dengan skor 4, 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5, 1 dan 0. Skor-skor tersebut yang nantinya menjadi masukan dalam pengklasteran *fuzzy* berupa *Fuzzy C-Means* dan Subtraktif.

Algoritma *Fuzzy C-Means* menghasilkan dua keluaran yaitu U_i yang dapat digunakan sebagai acuan seorang mahasiswa yang harus berada dalam kelas tertentu dan v_i yang digunakan untuk menentukan kelas mana yang mempunyai tingkat penguasaan tertinggi terhadap suatu mata kuliah prasyarat. Algoritma *Fuzzy C-Means* lebih cocok untuk alokasi mahasiswa menjadi beberapa kelas karena masukan berupa jumlah kluster yang diinginkan sedangkan algoritma Subtraktif kurang cocok untuk alokasi mahasiswa menjadi beberapa kelas karena masukan berupa jari-jari, dan tidak ada keluaran U_i hanya ada v_i yang juga kurang akurat sebagai penentu dalam penentuan tingkat penguasaan terhadap suatu mata kuliah prasyarat.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Untuk meningkatkan kualitas pendidikan selalu dikembangkan proses belajar mengajar yang efektif untuk meningkatkan kualitas para pelajar, mahasiswa, guru, dan dosen. Berbagai cara telah dilakukan untuk meningkatkan mutu pendidikan yaitu penyediaan fasilitas, penambahan tenaga pengajar, pembagian kelas yang terjadwal dan peningkatan kualitas tenaga pengajar. Karena dengan semua itu proses belajar mengajar dapat berjalan dengan lancar.

Pembagian kelas untuk mahasiswa yang terjadwal telah dilakukan oleh semua universitas. Biasanya pembagian kelas dilakukan berdasarkan nomor induk mahasiswa. Dengan pendekatan yang baru pembagian suatu kelas dapat berdasarkan nilai prestasi mahasiswa pada mata kuliah yang menjadi prasyarat untuk menempuh mata kuliah yang baru. Pendekatan ini dilakukan dengan pengklasteran *fuzzy*.

Pengklasteran *fuzzy* adalah salah satu teknik untuk menentukan kluster optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal Euclidian untuk jarak antar vektor. Dalam tugas akhir ini, algoritma yang dipakai adalah *Fuzzy C-Means* dan Subtraktif dengan parameter yang berbeda. Kedua algoritma tersebut akan diaplikasikan dalam pembagian kelas mahasiswa.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah menghasilkan kelompok mahasiswa berdasarkan prestasi mata kuliah prasyarat (Kalkulus I, Kalkulus II, Rangkaian Listrik I, dan Rangkaian Listrik II) untuk menempuh mata kuliah Dasar Sistem Kontrol menggunakan algoritma pengklasteran *fuzzy* yaitu *Fuzzy C-Means* dan Subtraktif.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Pembagian kelas mahasiswa dilakukan pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro menggunakan algoritma pengklasteran *fuzzy* berupa *Fuzzy C-Means* (FCM) dan pengklasteran subtraktif.
2. Pembagian kelas mahasiswa dilakukan pada mata kuliah Dasar Sistem Kontrol.
3. Data yang dianalisis adalah nilai mahasiswa pada mata kuliah Kalkulus I, Kalkulus II, Rangkaian Listrik I, dan Rangkaian Listrik II pada suatu angkatan.
4. Analisis dilakukan terhadap hasil keluaran algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM) dan pengklasteran subtraktif sehingga tidak dilakukan analisis terhadap grafik sumbu x-y.
5. Pembuatan program menggunakan Matlab versi 6.5.
6. *Trial and error* dilakukan untuk algoritma Subtraktif untuk memperoleh jumlah kluster yang diinginkan.
7. Jumlah kluster pada program untuk algoritma FCM hanya 2 – 7 kluster dan jari-jari (*radius*) pada program untuk algoritma Subtraktif hanya 0,475 – 1,205.

(1) Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro

(2) Staf Pengajar Teknik Elektro Universitas Diponegoro

II. LANDASAN TEORI

Dalam makalah ini, pengklasteran *fuzzy* digunakan untuk pembagian kelas mahasiswa-mahasiswa dalam mata kuliah Dasar Sistem Kontrol berdasarkan pada penguasaan mata kuliah prasyarat. Mata kuliah prasyarat dari mata kuliah Dasar Sistem Kontrol adalah Kalkulus I, Kalkulus II, Rangkaian Listrik I, dan Rangkaian Listrik II. Untuk mengukur tingkat penguasaan masing-masing mahasiswa yaitu berdasarkan nilai yang didapat oleh mahasiswa tersebut. Dimana dalam Universitas Diponegoro dibagi menjadi delapan kategori yaitu A, AB, B, BC, C, CD, D, dan E. Nilai-nilai tersebut sama dengan skor 4, 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5, 1 dan 0.

2.1 Fuzzy C-Means

Ada beberapa algoritma pengklasteran data, salah satu diantaranya adalah *Fuzzy C-Means* (FCM). FCM adalah suatu teknik pengklasteran data yang mana keberadaan tiap-tiap titik data dalam suatu kluster ditentukan oleh derajat keanggotaan. Teknik ini pertama kali diperkenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981.

Konsep dasar FCM, pertama kali adalah menentukan pusat kluster, yang akan menandai lokasi rata-rata untuk tiap-tiap kluster. Pada kondisi awal, pusat kluster ini masih belum akurat. Tiap-tiap titik data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap kluster. Dengan cara memperbaiki pusat kluster dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat kluster akan bergerak menuju lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimisasi fungsi objektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan ke pusat kluster yang terbobot oleh derajat keanggotaan titik data tersebut.

Keluaran dari FCM bukan merupakan sistem inferensi kabur, namun merupakan deretan pusat kluster dan beberapa derajat keanggotaan untuk tiap-tiap titik data.

Algoritma FCM sebagai berikut.

1. Masukkan data yang akan diklaster U , berupa matriks berukuran $n \times m$ (n = jumlah sampel data, m = atribut setiap data). U_{ik} = data sampel ke- i ($i=1,2,\dots,n$), atribut ke- k ($k=1,2,\dots,m$).
2. Menetapkan nilai pangkat $w > 1$ (misal: $w=2$), Eps (galat terkecil) (misal: 10^{-5}), MaxIter (misal:100), jumlah kluster $c > 1$, dan $t = 0$;
3. Menetapkan fungsi objektif awal: $P_t(c)$ secara acak;
4. Menetapkan matriks partisi $\mu_f(c)$ awal sembarang, sebagai berikut.

$$\mu_f(c) = \begin{bmatrix} \mu_{11}[u_1] & \eta_{21}[u_1] & \cdots & \mu_{c1}[u_1] \\ \mu_{12}[u_2] & \mu_{22}[u_2] & \cdots & \mu_{c2}[u_2] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{1N}[u_N] & \mu_{2N}[u_N] & \cdots & \mu_{cN}[u_N] \end{bmatrix}$$

5. Menaikkan nomor iterasi: $t = t + 1$.
6. Menghitung pusat vektor tiap-tiap kluster untuk matrik partisi tersebut sebagai berikut.

$$v_{fi} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^w u_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^w}$$

7. Memodifikasi tiap-tiap nilai keanggotaan sebagai berikut.
 - a. Jika $y_k \neq v_{fi}$,

$$\mu_{ik}(y_k) = \left[\sum_{g=1}^c \left(\frac{|u_k - v_{fi}|^2}{|u_k - v_{gi}|^2} \right)^{1/(w-1)} \right]^{-1}$$

- b. Jika $y_k = v_{fi}$,

$$\mu_{ik}(y_k) = 1, \text{ jika } i = g;$$

$$\mu_{ik}(y_k) = 0, \text{ jika } i \neq g.$$

8. Menghitung fungsi objektif:

$$P_t(c) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (\mu_{ik})^w |u_k - v_{fi}|^2$$

9. Memodifikasi matriks partisi sebagai berikut:

$$\mu_f(c) = \begin{bmatrix} \mu_{11}[u_1] & \eta_{21}[u_1] & \cdots & \mu_{c1}[u_1] \\ \mu_{12}[u_2] & \mu_{22}[u_2] & \cdots & \mu_{c2}[u_2] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{1N}[u_N] & \mu_{2N}[u_N] & \cdots & \mu_{cN}[u_N] \end{bmatrix}$$

10. Mengecek kondisi untuk berhenti, yaitu:

$$(|P_t(c) - P_{t-1}(c)| < Eps) \text{ atau } (t > MaxIter)$$

Jika ya berhenti, dan jika tidak ulangi kembali ke langkah-5.

2.2 Pengklusteran Subtraktif

Pengklusteran Subtraktif didasarkan atas ukuran kerapatan (potensi) titik-titik data dalam suatu ruang (variabel). Konsep dasar dari Pengklusteran Subtraktif adalah menentukan daerah-daerah dalam suatu variabel yang memiliki potensi tinggi terhadap titik-titik di sekitarnya. Titik-titik dengan jumlah tetangga terbanyak akan dipilih sebagai pusat kluster. Titik yang sudah terpilih sebagai pusat kluster ini kemudian akan dikurangi potensinya. Kemudian algoritma akan memilih titik lain yang memiliki tetangga terbanyak untuk dijadikan pusat kluster yang lain. Hal ini akan dilakukan berulang-ulang hingga semua titik diuji.

Algoritma Pengklasteran Subtraktif sebagai berikut.

1. Masukan data yang akan diklaster: X_{ij} , dengan $i=1,2,\dots,n$; dan $j=1,2,\dots,m$.
2. Menetapkan nilai r_a (jari-jari setiap atribut data), *squash factor* (q), rasio penerimaan, rasio penolakan.
3. Normalisasi

$$X_{ik} = \frac{X_{ij} - X \min_j}{X \max_j - X \min_j}, i=1,2,\dots,n;$$

$$j=1,2,\dots,m$$
4. Tentukan potensi awal tiap-tiap titik data
 - a. $i = 1$
 - b. Kerjakan hingga $i = n$,
 - 1) $T_j = U_{ij}; j=1,2,\dots,m$
 - 2) Hitung:

$$Dist_{kj} = \left(\frac{T_j - X_{kj}}{r_a} \right), j=1,2,\dots,m;$$

$$k=1,2,\dots,n$$
 - 3) Potensi awal:
 Jika $m = 1$, maka

$$D_i = \sum_{k=1}^n e^{-4(Dist_{ki}^2)}$$
 Jika $m > 1$, maka

$$D_i = \sum_{k=1}^n e^{-4 \left(\sum_{j=1}^m Dist_{kj}^2 \right)}$$
 - 4) $i = i + 1$
5. Cari titik dengan potensi tertinggi
 - a. $M = \max[D_i | i=1,2,\dots,n]$;
 - b. $h = i$, sedemikian hingga $D_i = M$;
6. Tentukan pusat klaster dan kurangi potensinya terhadap titik-titik disekitarnya.
 - a. Center=[]
 - b. $V_j = X_{hj}; j=1,2,\dots,m$;
 - c. $C=0$ (jumlah klaster)
 - d. Kondisi=1
 - e. $z = m$
 - f. Kerjakan jika (kondisi \neq 0) dan ($z \neq 0$);
 - 1) Kondisi=0 (sudah tidak ada calon pusat baru lagi);
 - 2) Rasio= Z/M
 - 3) Jika rasio > rasio penerimaan, maka kondisi=1; (ada calon pusat baru)
 - 4) Jika tidak maka rasio > rasio penolakan, (calon pusat baru akan diterima sebagai pusat jika keberadaannya akan memberikan keseimbangan terhadap data-data yang letaknya cukup jauh dengan pusat klaster yang telah ada), maka kerjakan
 - a) $Md = -1$

b) Kerjakan untuk $i = 1$ sampai $i = C$;

c) $Smd = \sqrt{Md}$;

$$i) G_{ij} = \frac{V_j - Center_{ij}}{r_a}$$

$$ii) Sd_i = \sum_{j=1}^m (G_{ij})^2$$

iii) Jika ($Md < 0$) atau ($Sd < Md$) maka $Md = Sd$;

d) Jika (rasio+ Smd) ≥ 1 , maka kondisi=1; (data diterima sebagai pusat klaster)

e) Jika (rasio+ Smd) < 1 , maka kondisi=2; (data tidak akan dipertimbangkan kembali sebagai pusat klaster).

5) Jika kondisi=1 (calon pusat baru diterima sebagai pusat baru), kerjakan:

a) $C = C + 1$;

b) $Center_C = V$;

c) Kurangi potensi dari titik-titik didekat pusat klaster:

$$i) S_{ij} = \frac{V_j - X_{ij}}{r_a * q}; j=1,2,\dots,m;$$

$$i=1,2,\dots,n.$$

$$ii) Dc_i = M * e^{-4 \left[\sum_{j=1}^m (S_{ij})^2 \right]};$$

$$i=1,2,\dots,n$$

iii) $D = D - Dc$;

iv) Jika $D_i \leq 0$, maka $D_i = 0$;

$$i=1,2,\dots,n$$

v) $Z = \max[D_i | i=1,2,\dots,n]$;

vi) Pilih $h = i$, sedemikian hingga $D_i = Z$;

6) Jika kondisi=2 (calon pusat baru tidak diterima sebagai pusat baru), maka:

a) $D_h = 0$;

b) $Z = \max[D_i | i=1,2,\dots,n]$;

c) Pilih $h = i$, sedemikian hingga $D_i = Z$;

7. Kembalikan pusat klaster dari bentuk ternormalisasi ke bentuk semula.

$$Center_{ij} = Center_{ij} * (X \max_j - X \min_j) + X \min_j$$

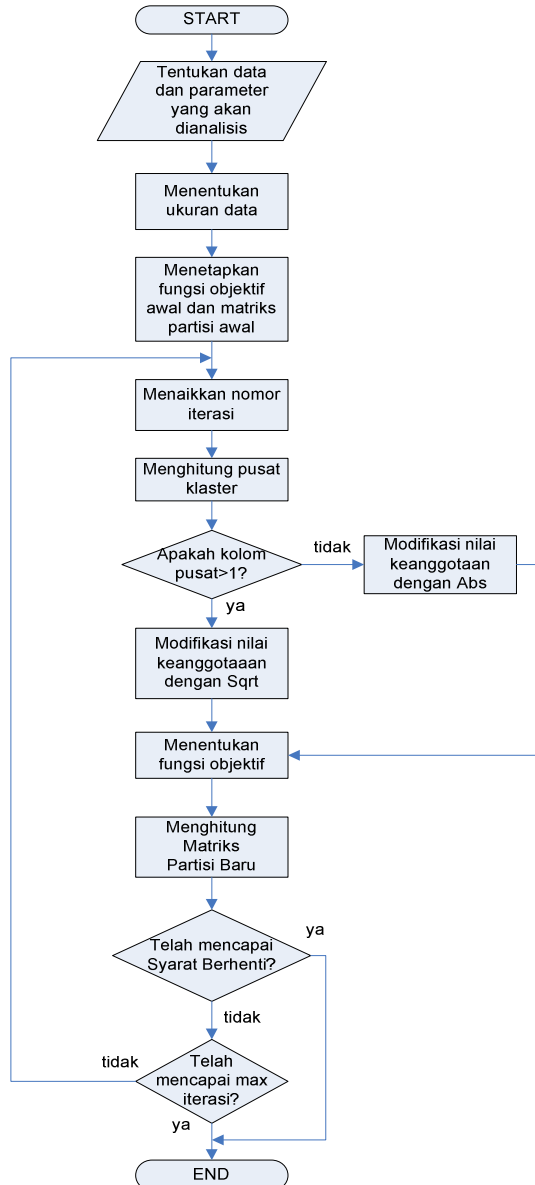
III. PERANCANGAN PROGRAM

Perancangan program pengklasteran *fuzzy* dibuat dengan dua metode yaitu algoritma *Fuzzy C-Means* dan algoritma pengklasteran Subtraktif. Kedua algoritma tersebut hanya menerima data dalam bentuk *.dat dan memiliki empat parameter yang harus ditentukan. Parameter untuk algoritma FCM meliputi

jumlah kluster, maksimum iterasi, faktor koreksi dan eksponen sedangkan untuk algoritma pengklasteran Subtraktif meliputi jari-jari, *squash*, rasio penerimaan, dan rasio penolakan. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab versi 6.5 menggunakan GUI. Program yang dibuat berfungsi untuk mengaplikasikan algoritma FCM dan pengklasteran Subtraktif dalam pembagian kelas mahasiswa.

3.1 Algoritma FCM

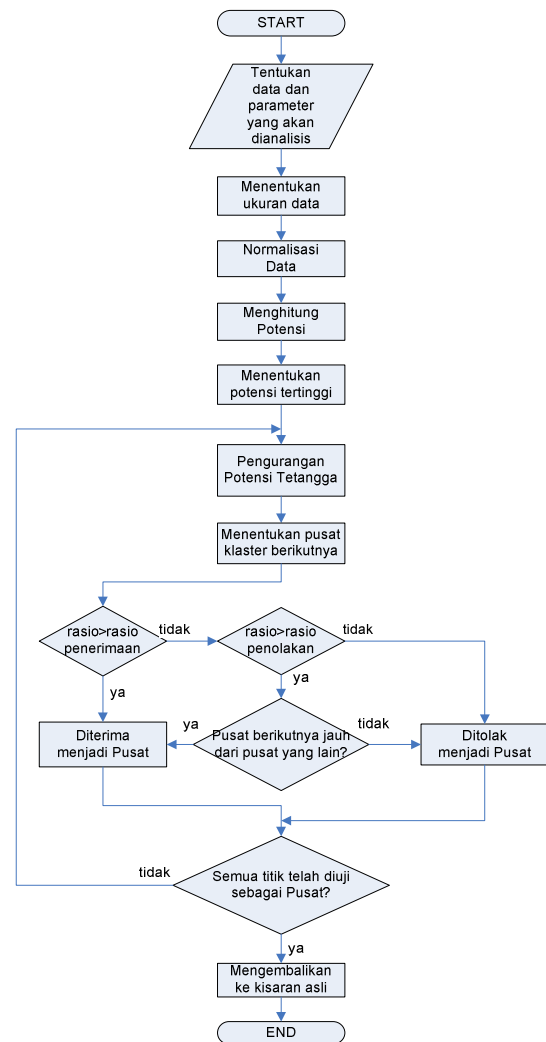
Diagram alir algoritma FCM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir algoritma FCM

3.2 Algoritma Pengklasteran Subtraktif

Diagram alir algoritma Subtraktif ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir algoritma Subtraktif

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Fuzzy C-Means

Dari data nilai mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol tujuh puluh mahasiswa dalam Tabel 1 pada Lampiran akan dibagi tiga kluster dan dua kluster. Dari Tabel 1 diperoleh bahwa nilai mahasiswa ke-8 ditampilkan sebagai vektor X_8 sebagai berikut:

$$X_8 = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Mahasiswa ini mendapat nilai BC untuk Kalkulus I, C untuk Kalkulus II, B untuk Rangkaian listrik I, dan C untuk Rangkaian listrik II.

Dengan algoritma FCM, masukan berupa 70 vektor atribut (X_1, X_2, \dots, X_{70}) akan dibuat tiga kluster dengan parameter jumlah kluster = 3, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2

sehingga memberikan keluaran dua jenis vektor. Vektor yang pertama terdapat dalam Tabel 2 pada lampiran yang merupakan nilai dari elemen vektor U_i ($i=1,2,3$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-8 sebagai berikut:

$$u_{81} = 0,058955 \quad u_{82} = 0,098326 \quad u_{83} = 0,84272$$

Dari ketiga nilai tersebut mahasiswa ke-8 masuk dalam kelas ke-3 atau kelas C. Hal itu dikarenakan dia mempunyai derajat keanggotaan tertinggi untuk kelas ini daripada dua kelas yang lain. Dengan demikian diperoleh alokasi mahasiswa yang mengambil mata kuliah Dasar Sistem Kontrol adalah sebagai berikut.

1. Kelas pertama atau kelas A berisi mahasiswa dengan nomor: 6, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 24, 25, 26, 28, 30, 33, 36, 37, 40, 43, 46, 49, 50, 53, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, dan 69. Total: 33.
2. Kelas kedua atau kelas B berisi mahasiswa dengan nomor: 1, 4, 7, 12, 14, 17, 20, 21, 23, 27, 32, 34, 35, 42, 45, 47, 55, 58, 59, 62, dan 68. Total: 21.
3. Kelas ketiga atau kelas C berisi mahasiswa dengan nomor: 2, 3, 5, 8, 22, 29, 31, 38, 39, 41, 44, 48, 51, 52, 54, dan 70. Total: 16.

Sehingga dari kelas A berjumlah 33 mahasiswa, kelas B berjumlah 21 mahasiswa dan kelas C berjumlah 16 mahasiswa.

Selanjutnya masih dengan algoritma FCM, masukan berupa 70 vektor atribut (X_1, X_2, \dots, X_{70}) akan dibuat dua klaster dengan parameter jumlah klaster = 2, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2 sehingga memberikan keluaran vektor dalam Tabel 5 pada Lampiran yang merupakan nilai dari elemen vektor U_i ($i=1,2$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-3 adalah sebagai berikut.

$$u_{31} = 0,2532 \quad u_{32} = 0,7468$$

Dari kedua nilai tersebut mahasiswa ke-3 masuk dalam kelas ke-1 atau kelas C. Hal itu dikarenakan dia mempunyai derajat keanggotaan tertinggi untuk kelas ini daripada kelas yang lain. Dengan demikian diperoleh alokasi mahasiswa yang mengambil mata kuliah Dasar Sistem Kontrol adalah sebagai berikut.

1. Kelas pertama atau kelas A berisi mahasiswa dengan nomor: 1, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 40, 43, 45, 46, 49, 50, 53, 55,

56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 dan 69. Total: 47.

2. Kelas kedua atau kelas B berisi mahasiswa dengan nomor: 2, 3, 4, 5, 7, 8, 22, 29, 31, 35, 38, 39, 41, 42, 44, 47, 48, 51, 52, 54, 58, 59, 70 dan 68. Total: 23.

Sehingga dari kelas A berjumlah 47 mahasiswa, dan kelas B berjumlah 23 mahasiswa.

Oleh karena itu vektor yang pertama disebut vektor derajat keanggotaan, yaitu

$$U_i = \begin{pmatrix} u_{1i} \\ \vdots \\ u_{ki} \\ \vdots \\ u_{70i} \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2, 3$$

Dengan setiap nilai dalam baris k menandakan derajat keanggotaan (atau tingkat kesesuaian) dari mahasiswa ke-k untuk mengambil mata kuliah Dasar Sistem Kontrol di klaster (atau kelas) i.

Vektor yang kedua terdapat dalam Tabel 3 pada lampiran untuk tiga klaster dengan parameter jumlah klaster = 3, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2 merupakan nilai dari elemen vektor pusat (*center*) atau v_i ($i=1,2,3$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-3 adalah sebagai berikut.

$$v_{31} = 3,3746 \quad v_{32} = 3,042 \quad v_{33} = 3,0021$$

Dari ketiga nilai tersebut bisa disimpulkan bahwa yang mempunyai tingkatan penguasaan tertinggi dalam mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol berupa Rangkaian Listrik I diraih oleh mahasiswa di kelas A yang kemudian disusul oleh kelas B dan C. Hasil yang sama juga diperoleh oleh mata kuliah Rangkaian Listrik II. Untuk mata kuliah Kalkulus I diraih oleh kelas A kemudian C dan B. Dan untuk mata kuliah Kalkulus II diraih oleh kelas B kemudian A dan C.

Vektor yang kedua untuk dua klaster terdapat dalam Tabel 6 pada Lampiran dengan parameter jumlah klaster = 2, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2 merupakan nilai dari elemen vektor pusat (*center*) atau v_i ($i=1,2$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-4 adalah sebagai berikut.

$$v_{41} = 3,3241 \quad v_{42} = 2,0305$$

Dari kedua nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa yang mempunyai tingkatan penguasaan tertinggi

dalam mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol berupa Rangkaian Listrik II diraih oleh mahasiswa di kelas A. Hasil yang sama juga diperoleh oleh mata kuliah kalkulus I, kalkulus II dan rangkaian listrik I.

Oleh karena itu vektor yang kedua disebut vektor pusat kluster, yaitu

$$center_i = v_i = \begin{pmatrix} v_{1i} \\ \vdots \\ v_{ji} \\ \vdots \\ v_{4i} \end{pmatrix}, i = 1,2,3$$

Dengan setiap v_{ji} menandakan rata-rata bobot tingkat prestasi mahasiswa dalam suatu kluster (atau kelas) i untuk mata kuliah prasyarat ke- j pada mata kuliah Dasar Sistem Kontrol. Nilai setiap komponen di vektor v_i berperan penting karena memberikan informasi adalah sebagai berikut.

1. Tingkat penguasaan mahasiswa terhadap mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol dalam setiap kelas, karena pengalokasian dalam tiga kelas, maka tingkat penguasaan dapat dikategorikan menjadi tinggi, sedang dan rendah.
2. Penentuan dalam menempatkan pengajar dalam suatu kelas.

Hasil keluaran terakhir dari FCM yaitu fungsi objektif dalam Tabel 4 (tiga kluster dengan parameter jumlah kluster = 3, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2) dan Tabel 7 (dua kluster dengan parameter jumlah kluster = 2, maksimum iterasi = 100, faktor koreksi = 10^{-5} , dan eksponen = 2) pada Lampiran merupakan pendekatan yang paling optimal dari banyaknya iterasi yang dilakukan.

4.2 Pengklasteran Subtraktif

Seperti dalam FCM dari data nilai mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol 70 mahasiswa dalam Tabel 1 pada lampiran akan dibagi tiga kluster dan dua kluster. Akan tetapi pembagian menjadi tiga kluster dan dua kluster tidak semudah seperti FCM karena masukan bukan jumlah kluster yang diinginkan melainkan jari-jari, sehingga diperlukan *trial and error* untuk mendapatkan tiga kluster dan dua kluster. Dari hasil *trial and error* tersebut diperoleh masing-masing dua jari-jari untuk setiap jumlah kluster yang mempunyai pusat berbeda. Dari Tabel 1 diperoleh bahwa nilai mahasiswa ke-8 ditampilkan sebagai vektor X_8 adalah sebagai berikut.

$$X_8 = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Mahasiswa ini mendapat nilai BC untuk Kalkulus I, C untuk Kalkulus II, B untuk Rangkaian Listrik I, C untuk Rangkaian Listrik II.

Dengan algoritma Subtraktif, masukan berupa 70 vektor atribut (X_1, X_2, \dots, X_{70}) akan dibagi tiga kluster dengan parameter jari-jari = 0,769 dan 0,949, *squash* = 1,25, rasio penerimaan = 0,5, dan rasio penolakan = 0,15 sehingga memberikan keluaran hanya satu jenis vektor.

Vektor tersebut terdapat dalam Tabel 8 pada Lampiran yaitu nilai dari elemen vektor pusat (*center*) atau v_i ($i=1,2,3$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-3 dengan jari-jari = 0,769 adalah sebagai berikut.

$$v_{31} = 4 \quad v_{32} = 3 \quad v_{33} = 3$$

Dari ketiga nilai tersebut lebih sulit untuk disimpulkan karena terdapat bobot yang sama pada kelas B dan C, sedangkan kelas A memiliki bobot yang lebih tinggi dari pada kelas B dan C dalam mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol berupa Rangkaian Listrik I. Adanya bobot yang sama pada dua kelas (A dan C) juga diperoleh oleh mata kuliah Kalkulus I dengan kelas B memiliki bobot terendah. Untuk mata kuliah Kalkulus II bobot tertinggi diraih oleh kelas B kemudian A dan C. Dan untuk mata kuliah Rangkaian Listrik II diraih oleh kelas A kemudian B dan C. Hal serupa juga terjadi pada jari-jari = 0,949.

Vektor untuk dua kluster dengan parameter jari-jari = 0,950 dan 1,205, *squash* = 1,25, rasio penerimaan = 0,5, dan rasio penolakan = 0,15 terdapat dalam Tabel 9 pada Lampiran yang merupakan nilai dari elemen vektor pusat (*center*) atau v_i ($i=1,2$). Sebagai contoh yaitu nilai baris ke-2 dengan jari-jari = 0,950 adalah sebagai berikut.

$$v_{21} = 3,5 \quad v_{22} = 2$$

Dari kedua nilai tersebut diperoleh bahwa kelas A memiliki bobot yang lebih tinggi dari pada kelas B dalam mata kuliah prasyarat Dasar Sistem Kontrol berupa Kalkulus II. Hal yang serupa juga terjadi pada mata kuliah Kalkulus I dan Rangkaian Listrik II. Untuk mata kuliah Rangkaian Listrik I bobot yang sama diraih oleh kelas A dan B sehingga sulit menentukan kelas mana yang lebih baik. Hal serupa juga terjadi pada jari-jari = 1,205.

Oleh karena itu vektor dengan algoritma Subtraktif ini kurang cocok untuk mengalokasikan banyaknya mahasiswa menjadi sejumlah kluster yang diinginkan karena masukan berupa jari-jari bukan jumlah kluster yang diinginkan. Algoritma Subtraktif ini akan lebih cocok untuk pengklasteran berdasarkan jari-jari yang diinginkan karena semakin besar nilai jari-jari maka jumlah kluster yang dihasilkan akan semakin kecil dan sebaliknya. Di samping itu juga

tidak diperoleh vektor U_i yang berguna untuk penempatan mahasiswa dalam suatu kelas tertentu.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Alokasi mahasiswa kedalam kelas-kelas tertentu berdasarkan tingkat penguasaan suatu mata kuliah diharapkan dapat membantu mahasiswa untuk lebih cepat memahami dan menguasai suatu subjek yang dipelajari karena difasilitasi dan dibimbing oleh pengajar yang sesuai.
2. Algoritma *Fuzzy C-Means* dalam menentukan kluster menggunakan iterasi yang berulang-ulang sampai didapat nilai fungsi objektif yang mendekati optimal.
3. Algoritma *Fuzzy C-Means* menghasilkan keluaran U_i yang dapat digunakan sebagai acuan seorang mahasiswa harus berada dalam kelas tertentu.
4. Algoritma *Fuzzy C-Means* juga menghasilkan v_i yang digunakan untuk menentukan kelas mana yang mempunyai tingkat penguasaan tertinggi terhadap suatu mata kuliah prasyarat.
5. Algoritma *Fuzzy C-Means* lebih cocok untuk alokasi mahasiswa menjadi beberapa kelas karena masukan berupa jumlah kluster yang diinginkan.
6. Algoritma Subtraktif kurang cocok untuk alokasi mahasiswa menjadi beberapa kelas karena masukan berupa jari-jari, dan tidak ada keluaran U_i hanya ada v_i yang juga tidak dapat sebagai penentu dalam penentuan tingkat penguasaan terhadap suatu mata kuliah prasyarat.

5.2 Saran

1. Aplikasi *Fuzzy Clustering* dapat diterapkan dalam berbagai bidang seperti ekonomi maupun medis.
2. Aplikasi *Fuzzy Clustering* juga dapat digunakan dalam sistem yang lebih kompleks seperti *NeuroFuzzy*.
3. Dalam *Fuzzy Clustering* masih banyak algoritma yang lain seperti algoritma SKP (*Susanto-Kennedy-Price Algorithm*)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bezdek, J.C., *Fuzzy Mathematics in Pattern Recognition*, Cornell University, Ithaca, 1973.
- [2] Bezdek, J.C., *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York, 1981.

- [3] Ibrahim, A., *Current Issues in Engineering Education Quality*. *Global Journal of Engineering Education*, Vol. 3, No. 3, 1999, pp. 301-305.
- [4] Jurusan Teknik Elektro Undip, *Buku Panduan Teknik Elektro*, Bidang III Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [5] Kusumadewi, S., *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2002.
- [6] Kusumadewi, S. dan H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.
- [7] Marks II, R.J., *Fuzzy Logic Technology and Applications*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1994.
- [8] Sallis, E., *Total Quality Management in Education*, Kogan Page, London, 1993.
- [9] Susanto, S., Suharto, I., dan Sukpto, P., *Using fuzzy clustering for allocation of students*, *World Transaction on Engineering and Technology Education*, Vol.1, No.2, 2002, pp.245-248.
- [10] The Student Edition of Matlab, *User's Guide The MATLAB*, Prentice-Hall International. Inc, USA, 1995.
- [11] Wang, L., *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall International. Inc, USA, 1997.



Helmy Yulianto Hadi (L2F001603) lahir di Semarang 1 Juli 1983, lulus SD Kanisius Kurmosari tahun 1995, lulus SLTP Domenico Savio tahun 1998, lulus SMU Kolese Loyola tahun 2001, saat ini sedang menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Mengesahkan,

Pembimbing I

R. Rizal Isnanto, S.T., M.M., M.T.
NIP. 132288515

Pembimbing II

Budi Setiyono, S.T., M.T.
NIP. 132283184

TABEL 1. NILAI-NILAI MATA KULIAH DARI 70 MAHASISWA BERDASARKAN PRESTASI PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL (DILANJUTKAN)

X _i (Mahasiswa ke-i)	Mata Kuliah Prasyarat			
	Kalkulus I	Kalkulus II	RL I	RL II
X ₁	3	4	3	3
X ₂	1	2	3,5	2,5
X ₃	3,5	2	3,5	2
X ₄	2	3,5	3	2,5
X ₅	2,5	4	2,5	1
X ₆	3,5	3	3,5	3,5
X ₇	3	2	3	3
X ₈	2,5	2	3	2
X ₉	3	3,5	4	4
X ₁₀	3,5	3	3	3,5
X ₁₁	2,5	2	3,5	3,5
X ₁₂	2,5	3	3	3
X ₁₃	3	3	4	3,5
X ₁₄	3	4	4	2,5
X ₁₅	3,5	3	3	3
X ₁₆	3,5	3,5	4	3,5
X ₁₇	2,5	3	3	3
X ₁₈	3,5	3	3	3
X ₁₉	3,5	3,5	3,5	4
X ₂₀	2,5	4	3	3,5
X ₂₁	2,5	3,5	2,5	3
X ₂₂	2,5	3	2,5	2
X ₂₃	2,5	4	3	3
X ₂₄	3	3	3,5	4
X ₂₅	2,5	4	4	3,5
X ₂₆	3,5	3	3	3,5
X ₂₇	2	3	3	3
X ₂₈	3	3	3	3,5
X ₂₉	1	2	2	1
X ₃₀	3,5	3	3	3
X ₃₁	2	3	3	2
X ₃₂	3	3	4	2,5
X ₃₃	3,5	4	3	3,5
X ₃₄	3,5	3,5	3	2,5
X ₃₅	3,5	3	2,5	2,5
X ₃₆	3,5	4	3,5	4
X ₃₇	3	3	3	3,5
X ₃₈	3,5	2	3	1
X ₃₉	3	2	3	1
X ₄₀	3,5	3	3	3
X ₄₁	3,5	2	3	1,5
X ₄₂	3	3	3	2,5
X ₄₃	4	3	4	3
X ₄₄	2,5	2	3	2
X ₄₅	3	4	3	3
X ₄₆	3,5	3	3	3
X ₄₇	2,5	2	3	3
X ₄₈	3	3	3	2
X ₄₉	3,5	3	4	3,5
X ₅₀	3	3	3	3,5
X ₅₁	3	3,5	3	1,5
X ₅₂	3,5	2	3,5	2,5
X ₅₃	3,5	3,5	3,5	3,5
X ₅₄	3	2	3	1
X ₅₅	3	3,5	3	3

TABEL 1. NILAI-NILAI MATA KULIAH DARI 70 MAHASISWA BERDASARKAN PRESTASI PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL (LANJUTAN)

X _i (Mahasiswa ke-i)	Mata Kuliah Prasyarat			
	Kalkulus I	Kalkulus II	RL I	RL II
X ₅₆	3	4	3	3,5
X ₅₇	3,5	3	3,5	3
X ₅₈	2,5	4	3	2
X ₅₉	1	3	2,5	3
X ₆₀	2,5	3	3	4
X ₆₁	3,5	3,5	3,5	3,5
X ₆₂	2,5	3,5	3	3
X ₆₃	3,5	4	4	3,5
X ₆₄	3,5	3,5	3	4
X ₆₅	3,5	3,5	3	3
X ₆₆	3	3,5	3,5	4
X ₆₇	3,5	2,5	4	4
X ₆₈	2,5	3	2,5	4
X ₆₉	3,5	4	3	3
X ₇₀	3	2	3	1

(Catatan: nilai-nilai tersebut telah dikonversi sebagai berikut A=4; AB=3,5; B=3; BC=2,5; C=2; CD=1,5; D=1; E=0)

TABEL 2. NILAI-NILAI U_{ki} DARI 70 MAHASISWA YANG MENDAFTAR MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI TIGA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM (DILANJUTKAN)

U _{ki}	i			
	1	2	3	
k	1	0,35396	0,5779	0,068133
	2	0,23609	0,35478	0,40913
	3	0,15674	0,17296	0,6703
	4	0,18698	0,64212	0,17091
	5	0,21101	0,35531	0,43368
	6	0,86563	0,10668	0,02769
	7	0,31164	0,35692	0,33144
	8	0,058955	0,098326	0,84272
	9	0,66685	0,26287	0,07028
	10	0,74742	0,20593	0,046655
	11	0,38818	0,3848	0,22702
	12	0,12344	0,82632	0,05024
	13	0,66487	0,26172	0,073408
	14	0,40025	0,44229	0,15746
	15	0,5487	0,36199	0,089318
	16	0,74171	0,19977	0,058516
	17	0,12344	0,82632	0,05024
	18	0,5487	0,36199	0,089318
	19	0,77715	0,17768	0,045171
	20	0,37293	0,55407	0,072994
	21	0,18144	0,73975	0,078811
	22	0,14215	0,37123	0,48662
	23	0,25466	0,67007	0,075269
	24	0,70906	0,2354	0,055536
	25	0,48491	0,41656	0,098532
	26	0,74742	0,20593	0,046655
	27	0,20588	0,65733	0,13679
	28	0,58758	0,36853	0,043896
	29	0,18198	0,27733	0,54069
	30	0,5487	0,36199	0,089318

TABEL 2. NILAI-NILAI U_{ki} DARI 70 MAHASISWA YANG MENDAFTAR MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI TIGA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM (LANJUTAN)

U_{ki}	i			
	1	2	3	
k	31	0,15616	0,39738	0,44646
	32	0,36786	0,40389	0,22825
	33	0,61401	0,32062	0,065368
	34	0,36353	0,48493	0,15154
	35	0,29323	0,4396	0,26717
	36	0,6734	0,2587	0,067897
	37	0,58758	0,36853	0,043896
	38	0,095545	0,12152	0,78293
	39	0,059136	0,082465	0,8584
	40	0,5487	0,36199	0,089318
	41	0,079004	0,10009	0,82091
	42	0,19593	0,62557	0,1785
	43	0,58727	0,26453	0,1482
	44	0,058955	0,098326	0,84272
	45	0,35396	0,5779	0,068133
	46	0,5487	0,36199	0,089318
	47	0,26791	0,38994	0,34215
	48	0,14983	0,33051	0,51966
	49	0,72866	0,20016	0,071182
	50	0,58758	0,36853	0,043896
	51	0,18635	0,33712	0,47653
	52	0,27078	0,25735	0,47187
	53	0,88475	0,095621	0,01963
	54	0,059136	0,082465	0,8584
	55	0,19987	0,77318	0,026949
	56	0,50641	0,43442	0,059169
	57	0,67869	0,24801	0,073296
	58	0,23148	0,53087	0,23765
	59	0,259	0,47268	0,26832
	60	0,47806	0,43304	0,088902
	61	0,88475	0,095621	0,01963
	62	0,090607	0,88367	0,025727
	63	0,6458	0,27346	0,080735
	64	0,71211	0,23317	0,054724
	65	0,55934	0,37692	0,063747
	66	0,71861	0,235	0,046391
	67	0,61858	0,25989	0,12153
	68	0,41415	0,47134	0,11451
	69	0,49843	0,41532	0,086242
	70	0,059136	0,082465	0,8584

TABEL 3. NILAI-NILAI V_{ji} (CENTER) DARI 4 PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI TIGA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM

j	V_{ji}	i		
		1	2	3
j	Kalkulus I	3,273	2,7335	2,8419
	Kalkulus II	3,2734	3,299	2,2722
	RL I	3,3746	3,042	3,0021
	RL II	3,4279	2,9452	1,6584

TABEL 4. NILAI FUNGSI OBJEKTIF TIGA CLUSTER SELAMA ITERASI DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM

Banyaknya iterasi	Nilai fungsi objektif
1	52,149
2	39,86
3	39,477
4	38,717
5	37,622
6	36,504
7	35,697
8	35,258
9	35,05
10	34,956
11	34,913
12	34,891
13	34,879
14	34,873
15	34,869
16	34,867
17	34,866
18	34,865
19	34,865
20	34,865
21	34,865
22	34,864
23	34,864
24	34,864
25	34,864
26	34,864

TABEL 5. NILAI-NILAI U_{ki} DARI 70 MAHASISWA YANG MENDAFTAR MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI DUA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM (DILANJUTKAN)

U_{ki}	i		
	1	2	
k	1	0,81824	0,18176
	2	0,34679	0,65321
	3	0,2532	0,7468
	4	0,4217	0,5783
	5	0,32487	0,67513
	6	0,91016	0,089836
	7	0,41882	0,58118
	8	0,093363	0,90664
	9	0,84554	0,15446
	10	0,89966	0,10034
	11	0,55756	0,44244
	12	0,6234	0,3766
	13	0,83034	0,16966
	14	0,65575	0,34425
	15	0,81082	0,18918
	16	0,86202	0,13798
	17	0,6234	0,3766
	18	0,81082	0,18918
	19	0,89192	0,10808
	20	0,80909	0,19091
	21	0,64216	0,35784
	22	0,13642	0,86358
	23	0,7356	0,2644
	24	0,87332	0,12668
	25	0,77995	0,22005

TABEL 5. NILAI-NILAI u_{ki} DARI 70 MAHASISWA YANG MENDAFTAR MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI DUA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM (LANJUTAN)

u_{ki}	i		
	1	2	
k	26	0,89966	0,10034
	27	0,50239	0,49761
	28	0,91563	0,084369
	29	0,28612	0,71388
	30	0,81082	0,18918
	31	0,16911	0,83089
	32	0,52134	0,47866
	33	0,87227	0,12773
	34	0,64494	0,35506
	35	0,45738	0,54262
	36	0,85839	0,14161
	37	0,91563	0,084369
	38	0,21895	0,78105
	39	0,17311	0,82689
	40	0,81082	0,18918
	41	0,19517	0,80483
	42	0,3474	0,6526
	43	0,71755	0,28245
	44	0,093363	0,90664
	45	0,81824	0,18176
	46	0,81082	0,18918
	47	0,36719	0,63281
	48	0,11127	0,88873
	49	0,83101	0,16899
	50	0,91563	0,084369
	51	0,25314	0,74686
	52	0,36048	0,63952
	53	0,93936	0,060636
	54	0,17311	0,82689
	55	0,88911	0,11089
	56	0,87731	0,12269
	57	0,83532	0,16468
	58	0,42436	0,57564
	59	0,44192	0,55808
	60	0,7968	0,2032
	61	0,93936	0,060636
	62	0,74194	0,25806
	63	0,83091	0,16909
	64	0,88546	0,11454
	65	0,87616	0,12384
	66	0,89852	0,10148
	67	0,75452	0,24548
	68	0,73593	0,26407
	69	0,82082	0,17918
	70	0,17311	0,82689

TABEL 6. NILAI-NILAI v_{ji} (CENTER) DARI 4 PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI DUA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM

v_{ji}	i		
	1	2	
j	Kalkulus I	3,1429	2,707
	Kalkulus II	3,3174	2,6043
	RL I	3,2631	2,9998
	RL II	3,3241	2,0305

TABEL 7. NILAI FUNGSI OBJEKTIF DUA CLUSTER SELAMA ITERASI DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FCM

Banyaknya iterasi	Nilai fungsi objektif
1	68.949
2	60.112
3	60.08
4	60.068
5	60.048
6	60.001
7	59.873
8	59.548
9	58.815
10	57.547
11	56.101
12	55.092
13	54.621
14	54.443
15	54.378
16	54.355
17	54.347
18	54.344
19	54.343
20	54.343
21	54.342
22	54.342
23	54.342
24	54.342

TABEL 8. NILAI-NILAI CENTER DARI 4 PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI TIGA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SUBTRACTIVE CLUSTERING

r_a	Center	i		
	j	1	2	3
0,769	Kalkulus I	3,5	3	3,5
	Kalkulus II	3	3,5	2
	RL I	4	3	3
	RL II	3,5	3	1,5
0,949	Kalkulus I	3,5	3	2,5
	Kalkulus II	2,5	3,5	2
	RL I	4	3	3
	RL II	4	3	2

TABEL 9. NILAI-NILAI CENTER DARI 4 PRASYARAT MATA KULIAH DASAR SISTEM KONTROL DI DUA KELAS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SUBTRACTIVE CLUSTERING

r_a	Center	i	
	j	1	2
0,950	Kalkulus I	3	2,5
	Kalkulus II	3,5	2
	RL I	3	3
	RL II	3	2
1,205	Kalkulus I	3	3
	Kalkulus II	3,5	2
	RL I	3	3
	RL II	3	1