

PENGEMBANGAN WEB TOOL COMPUTERIZED ADAPTIVE TEST DENGAN ALGORITMA K-MEANS UNTUK CLUSTERING SOAL DAN PEMILIHAN BUTIR TEST DENGAN FUZZY LOGIC

Agung Nur Hidayat¹⁾, Arief Turbagus Nuril²⁾, Atyasa Anindita³⁾

^{1), 2)} Teknik Informatika STMIK AMIKOM Yogyakarta

³⁾ Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta

^{1), 2)} Jl Ring road Utara, Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55281

³⁾ Jalan Colombo No. 1, Karangmalang, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

Email : agung7659@students.amikom.ac.id¹⁾, turbagus14@gmail.com²⁾, tyasanindita306@gmail.com³⁾

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan Web Tool untuk menganalisa respon jawaban yaitu daya beda soal dan tingkat kesulitan soal, dan mengklusterkan soal sesuai dengan tingkat kesulitannya menggunakan algoritma K-Mean. Kemudian nilai tersebut dijadikan base data untuk model sistem inferensi dalam pengambilan keputusan untuk memberikan butir soal tes yang tepat sesuai dengan kemampuan peserta dengan menggunakan algoritma fuzzy logic berdasar respon peserta pada butir soal sebelumnya.

Dalam pengembangan Web Tool ini menggunakan metode prototype yang terdiri dari 4 tahap yaitu: (1) pembentukan bank soal, (2) pengumpulan knowledge base dan pembentukan algoritma (rule), (3) pengembangan perangkat lunak, (4) testing, yaitu analisa soal dan penyajian computerized adaptive test.

Tujuan Web Tool ini adalah menyediakan tes adaptif yang sesuai dengan tingkat kemampuan user, sehingga penilaian bisa seobjektif mungkin. Untuk implementasi bisa digunakan sebagai tes seleksi, evaluasi, maupun memonitor perkembangan peserta.

Kata kunci : computerized adaptive test, K-means Clustering , fuzzy logic, CAT.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa masa terakhir, perkembangan teknologi dan informasi memiliki pengaruh pada setiap lini. Tidak lagi terbatas pada komunikasi dan transportasi, perkembangan teknologi masuk ke bidang pendidikan. Berbagai media pembelajaran diciptakan untuk mendukung proses pembelajaran, memudahkan peserta memahami suatu materi, dan memudahkan guru dalam memberi arahan. Selain mendukung dalam proses pembelajaran, evaluasi pembelajaran sedikit banyak telah memanfaatkan teknologi. Salah satu contohnya adalah Computer-Based Test^[1].

CBT menyajikan soal-soal pilihan ganda dengan urutan soal maupun isi soal sama untuk setiap peserta tes. CBT

seperti halnya tes tertulis dalam kertas (paper-based test), hanya saja penyajiannya menggunakan komputer. Sebab urutan dan isi soal yang sama, CBT belum mampu membedakan kemampuan peserta didik secara individu. Dibutuhkan sebuah tes yang mampu menyajikan soal dengan urutan yang berbeda sesuai kemampuan masing-masing peserta didik. *Computerized Adaptive Test* menjadi alternatif bentuk tes yang membantu peserta didik mengerjakan tes sesuai kemampuannya. Peserta didik dengan kemampuan rendah akan diarahkan mengerjakan soal yang mudah, sementara peserta dengan kemampuan tinggi diberikan soal yang sulit. Kedua kelompok ini mendapatkan soal yang berbeda sehingga guru dapat mengetahui kemampuan peserta didik yang sebenarnya^[2].

Artificial Intelligence (AI) dapat didefinisikan sebagai cabang dari ilmu komputer yang berkaitan dengan otomatisasi perilaku cerdas^[3]. Ruang lingkup dari AI sendiri cukup luas di antaranya : (1) Pemrosesan Bahasa Alami, (2) Komputasi Neural, (3) Sistem Pakar, (4) Logika Samar/ Fuzzy, (5) Pemahaman Ucapan, (6) Komputer Visi, (7) Intelligent Tutoring, (8) Pemrograman Otomatis, (9) Robotika.

AI sendiri terdiri dari tiga unsur pokok^[3] yaitu : (1) *Knowledge Base* (KB) dalam hal ini adalah pengetahuan tentang evaluasi pendidikan, (2) *Data Base* (DB) atau basis data yaitu sebuah sistem untuk menyimpan data olahan, dalam sistem ini menggunakan *mysql database*, (3) *Inference Engine* (IE) atau mesin inferensi, yang dalam sistem ini menggunakan Sistem Fuzzy.

Sistem fuzzy adalah algoritma matematika untuk menangani informasi yang tidak pasti, ambigu, dan perkiraan^[4]. Logika fuzzy umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), *noisy*, dan sebagainya.

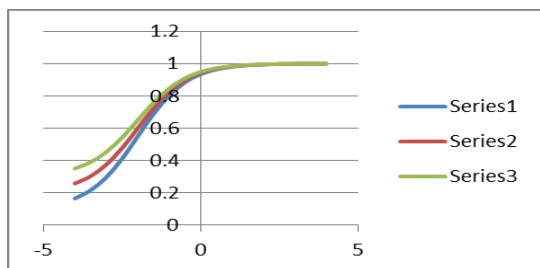
Sistem Fuzzy yang digunakan dalam Web Tool ini ada dua yaitu untuk klasterisasi tingkat kesulitan soal untuk membentuk kelompok-kelompok soal berdasar tingkat kesulitannya menggunakan algoritma K-Means dan

untuk Defuzzyfikasi untuk menghasilkan keputusan berupa pemilihan butir soal dengan menggunakan *Fuzzy Logic* metode Tsukamoto.

2. Pembahasan

Adaptive Test sangat memungkinkan dilakukan dengan komputer karena di dalamnya terdapat pengolahan informasi butir soal dan menampilkan soal sesuai kemampuan peserta. Komputer dapat mengatur dan memberikan skor dengan cepat dan akurat, Oleh karena itu dikembangkan Adaptive Test yang terkomputerisasi / Computerized Adaptive Test. Untuk membuat CAT perlu dipahami teori respon butir yang di dalamnya meliputi estimasi kemampuan peserta tes. Estimasi kemampuan peserta tes menjadi dasar pemilihan butir soal selanjutnya. Parameter yang digunakan dalam teori respon butir untuk menentukan estimasi kemampuan meliputi : tingkat kesukaran soal (b), daya pembeda soal (a), dan tebakan semu (c)^[7].

Kecerdasan dalam bidang psikologi dan pendidikan bersifat perspektif sehingga dinyatakan dengan probabilitas^[6]. Nilai kemampuan disimbolkan θ dan pada masing-masing tingkat kemampuan, peserta memiliki probabilitas menjawab benar yang disimbolkan dengan $P(\theta)$. Probabilitas bernilai kecil apabila kemampuan peserta rendah dan sebaliknya. Probabilitas terendah nilainya mendekati 0 pada tingkat kemampuan terendah. Hal tersebut digambarkan dalam grafik (1)



Bagan 1. Item Characteristic Curve

dengan :

- sumbu x = tingkat kemampuan siswa
- sumbu y = probabilitas menjawab soal dengan benar
- series = butir soal yang di ujikan

Terdapat dua unsur yang membentuk kurva tersebut yaitu tingkat kesulitan dan daya beda. Soal mudah diperuntukkan bagi peserta dengan kemampuan rendah dan sebaliknya. Tingkat kesukaran soal (b) adalah proporsi dari peserta tes yang menjawab benar. Nilai b berada pada rentang 0% hingga 100%. Semakin tinggi nilai b semakin mudah soal. Jika nilai b di atas 90% menandakan bahwa soal tersebut terlalu mudah sehingga tidak mampu melihat kemampuan peserta, di bawah 20% soal terlalu sulit dan perlu direvisi^[5]. Tingkat kesulitan optimal bernilai 0,50. Untuk menentukan tingkat kesukaran soal digunakan persamaan (1)

$$b = \frac{N_p}{N} \dots\dots(1)$$

b = tingkat kesulitan soal

N_p = jumlah siswa yang menjawab benar

N = jumlah jawaban siswa

Sedangkan daya beda merupakan kemampuan suatu butir soal untuk membedakan berbagai kemampuan yang diukur. Indeks daya beda berkisar antara 0,00 hingga 1,00. Pada kurva yang semakin curam, daya bedanya semakin baik. Semakin tinggi nilainya, semakin baik soal membedakan kemampuan. Untuk menentukan daya pembeda soal (a) digunakan persamaan (2)

$$a = \frac{2(BA - BB)}{N} \dots\dots(2)$$

a = daya beda soal

BA = jumlah jawaban benar pada kelompok atas

BB = jumlah jawaban benar pada kelompok bawah

N = jumlah jawaban

Probabilitas kemampuan peserta tes (θ) didapatkan dari persamaan (3)

$$Pi(\theta) = \frac{1}{1 + e^{-a_i(\theta - b_i)}} \dots\dots(3)$$

$Pi(\theta)$ = probabilitas siswa untuk menjawab dengan benar pada tingkat kemampuan θ
e = bilangan natural (2,718)
a = daya beda soal
b = tingkat kesulitan soal
θ = tingkat kemampuan siswa

$a(\theta - b)$ merupakan simpangan logistik (L), dan θ merupakan kemampuan peserta yang nilainya -3 hingga 3. Suatu butir soal yang baik memiliki nilai b antara -3 hingga +3 sedangkan nilai daya bedanya -2,80 hingga +2,80^[6].

Tabel 1. Tabel Respon Peserta Tes

Peserta	Soal										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	5
3	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	6
4	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
5	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4
6	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	5
7	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	7
8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
10	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Total	9	6	6	0	3	1	4	6	1	3	

Data di atas merupakan contoh respon peserta suatu tes pilihan ganda di mana nilai 1 untuk jawaban benar dan 0 untuk jawaban salah. Total skor masing-masing peserta di kolom paling kanan, kolom paling bawah menunjukkan banyaknya peserta yang menjawab benar.

Tabel 2. Tabel Tingkat Kesukaran dan Daya Beda

Soal	b	BA	BB	BA-BB	a
1	0,9	3	2	1	0,22
2	0,6	0	3	-3	-1,00

3	0,6	0	3	-3	-1,00
4	0,0	0	0	0	0,00
5	0,1	0	2	-2	-4,00
6	0,1	0	0	0	0,00
7	0,4	0	3	-3	-1,50
8	0,6	3	3	0	0,00
9	0,1	0	0	0	0,00
10	0,3	0	2	-2	-1,33

Tabel di atas menunjukkan nilai tingkat kesukaran dan daya beda butir soal dihitung secara manual.

Tabel 3. Tabel Probabilitas Tingkat Kemampuan $P(\theta)$ untuk kemampuan bernilai 2

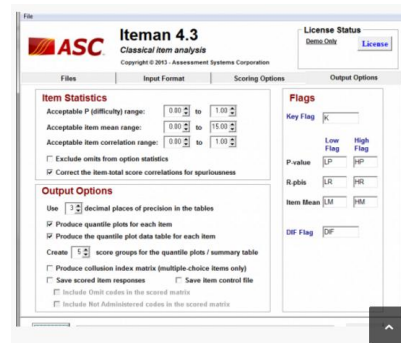
Soal	b	A	L	$E(-L)$	$P(\theta)$
1	0,9	0,22	0,242	1,27	0,44
2	0,6	-1,00	-1,40	0,25	0,80
3	0,6	-1,00	-1,40	0,25	0,80
4	0,0	0,00	0,00	1	0,50
5	0,1	-4,00	-7,60	0,00	1,00
6	0,1	0,00	0,00	1	0,50
7	0,4	-1,50	-2,40	0,09	0,92
8	0,6	0,00	0,00	1	0,50
9	0,1	0,00	0,00	1	0,50
10	0,3	-1,33	-2,26	0,10	0,91

Tabel di atas merupakan hasil analisis manual dari probabilitas tingkat kemampuan berdasarkan 2 parameter logistik. Pada $b=0,9$ (tingkat kesukaran tinggi, soal mudah) dan $a=0,22$ (daya beda rendah), kemampuan peserta rendah (0,44). Tingkat kesukaran rendah, daya beda rendah, menghasilkan kemampuan tinggi (soal 10).

Penelitian Sebelumnya

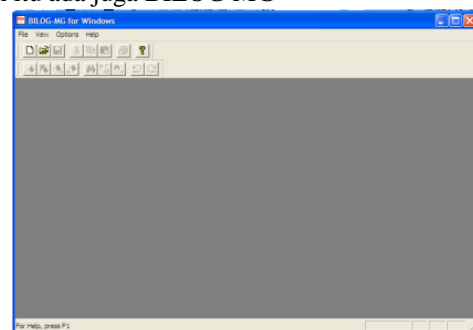
Hasil penelitian mengenai CAT yang telah dilakukan dibuat menggunakan *macromedia flash* untuk membuat susunan tes yang mampu mendiagnosis kemampuan kognitif peserta. Sebelum membuat bank soal, beberapa soal diujikan tanpa komputer, dianalisis, dan dipilih soal-soal yang memenuhi kriteria. Bank soal dimasukkan ke dalam sistem, cara pengacakan soal berdasarkan tingkat kesulitan soal yang didapat dari hasil analisis. Tes adaptif tersebut diujikan menggunakan komputer dengan program *macromedia flash*. Kelemahan dari sistem yang telah dibuat adalah belum mampu menyimpan jawaban peserta secara otomatis sehingga admin harus *capture* hasil jawaban peserta. Analisis hasil CAT juga dilakukan dengan memasukkan jawaban satu per satu ke dalam program analisis butir soal^[9].

Jadi tool yang sudah ada, antara tool untuk menganalisa soal seperti tingkat kesulitan soal dan daya beda terpisah dengan tool untuk adaptive test, contoh untuk tool analisis soal adalah ITEMAN, RASCAL, ASCAL, BIGSTEP, QUEST, BILOG, EXCELL, SPSS dan lainnya sehingga ada 2 kali tahap penginputan soal yang pertama adalah penginputan soal kedalam program analisa soal kemudian hasilnya di inputkan kembali kedalam sistem adaptive test.



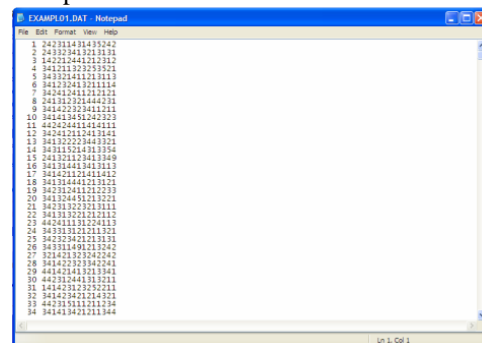
Gambar 1. Iteman contoh program untuk analisis soal program diatas akan menghasilkan output file (pdf/word/txt) yang menampilkan hasil analisis seperti daya beda soal dan tingkat kesulitan soal yang kemudian harus di inputkan lagi ke sistem adaptive test.

Selain itu ada juga BILOG MG



Gambar 2 Tampilan program BILOG-MG

Sama seperti Iteman carakernya kita harus memasukan file hasil respon test baru kemudian akan muncul analisa hasil nya, pertama kita inputkan file yang berisi hasil jawaban dari tes klasik para siswa, untuk ekstensi file nya adalah .dat, tapi pada dasarnya berisi text file yang berisi jawaban siswa dan nomornya sesuai baris nya berikut contoh file “.dat” sebagai inputan respon.



Gambar 3 Input respon BILOG-MG

Digit pertama tiap baris diartikan nomor dari siswa kemudian spasi dan di ikuti dengan jawaban dari para siswa, setelah itu input kunci jawaban pada BILOG-MG, file ekstensi untuk jawaban adalah “.key”, tapi sama seperti respon file ini pada dasarnya berstruktur text file yang berisi kunci jawaban:



Gambar 4. kunci jawaban inputan BILOG-MG

Untuk menjalankan analisis klik run. Kemudian akan tampil hasil analisa seperti dibawah:

SUBTEST UKK ; ITEM PARAMETERS AFTER CYCLE 24							
ITEM	INTERCEPT S.E.	SLOPE S.E.	THRESHOLD S.E.	LOADING S.E.	ASYMPTOTE S.E.	CHISQ (PROB)	DF
ITEM01	1.866 0.180*	0.714 0.126*	-2.615 0.407*	0.581 0.103*	0.192 0.086*	4.2 (0.5208)	5.0
ITEM02	0.199 0.141*	0.749 0.139*	-0.265 0.215*	0.599 0.111*	0.188 0.075*	7.2 (0.5179)	8.0
ITEM03	1.293 0.152*	1.093 0.185*	-1.184 0.188*	0.738 0.125*	0.166 0.074*	6.5 (0.4798)	7.0
ITEM05	-1.355 0.400*	1.036 0.315*	1.308 0.175*	0.719 0.219*	0.198 0.040*	13.1 (0.1560)	9.0
ITEM06	-0.967 0.255*	0.542 0.151*	1.784 0.350*	0.477 0.132*	0.145 0.051*	12.8 (0.1740)	9.0
ITEM07	0.460 0.128*	0.727 0.116*	-0.633 0.213*	0.588 0.094*	0.163 0.071*	3.3 (0.9142)	8.0
ITEM08	-0.042 0.168*	0.802 0.167*	0.052 0.203*	0.625 0.130*	0.212 0.072*	3.5 (0.9012)	8.0
ITEM09	0.395 0.135*	0.993 0.178*	-0.398 0.173*	0.705 0.127*	0.187 0.071*	5.6 (0.6960)	8.0

Gambar 5. hasil analisa Bilog-MG

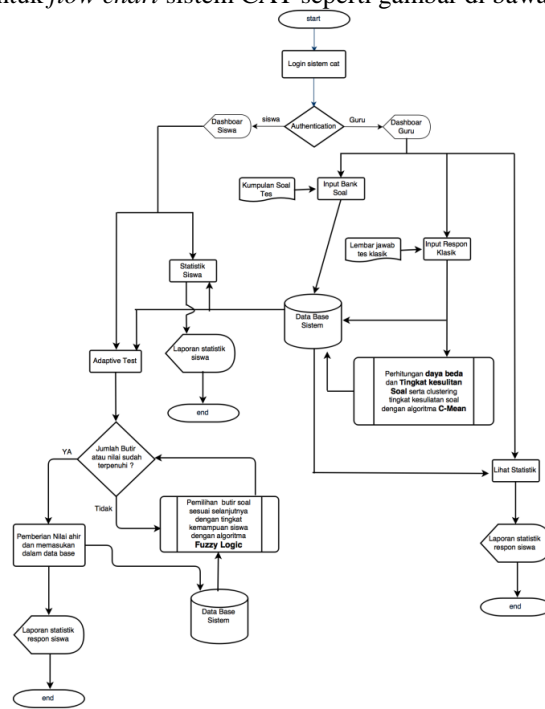
berisi detail estimasi, algoritma konvergen, dan estimasi akhir pada butir soal. Slope menandakan parameter daya beda (a), treshhold merupakan parameter tingkat kesukaran (b), dan asymptote merupakan parameter tebakan semu (pseudo-guessing). Kemudian parameter tersebut di inputkan ke sistem adaptive test yang akan digunakan baik dengan Desktop(flash, C#, java) atau platform web.

Sedangkan dalam penelitian ini menghasilkan sebuah Tool(Web Tool) untuk melakukan analisa(soal) sekaligus menyajikan sebuah adaptive test seperti pada gambar 11 untuk analisa dan klusterung soal dan menyajikan adaptive test seperti pada gambar 12 dan 13. Perhitungan bobot soal dan penyajian soal di lakukan oleh sisitem yang sama jadi proses input soal hanya perlu dilakukan sekali.

Kemudian perbedaan selanjutya dari penelintina sebelumnya adalah tool ini menggunakan kombinasi algoritma antara tehnik data mining dan kecerdasan buatan. Pada dasarnya, adaptive test adalah sebuah test yang membeikan butir soal sesuai kemampuan, hanya saja kemampuan siswa sendiri merupakan sesuatu yang relative (belum pasti) oleh karena itu dalam mengukur nya menggunakan fuzzy logic. Hanya saja keputusan yang dihasilkan adalah sebuah output bilangan yang memungkinkan tidak tersedianya soal tersebut di bank soal, oleh karena itu di perlukan sebuah rule lagi untuk bisa menghubungkan hasil keputusan dari fuzzy logic kepada tingkat kesulitan soal, oleh karena itu digunakan lah algoritma clustering. Sehingga bisa menghubungkan hasil output bilangan fuzzy logic dengan soal secara menyeluruh. Hasilnya adalah sistem ini pasti

menghasilkan sebuah keputusan. Selain itu kelebihan too ini adalah menggunakan platform website, yang memungkinkan penerapan pada sistem yang luas(online). Dan jika sistem ini berhasil di gunakan secara online karena dalam sistem ini memungkinkan dilakukan data maning akan banyak potensi tentang analytical data yang bisa dilakukan, bukan hanya clustering soal seperti assosiasi, caster(peramalan) serta tree decision untuk membantu proses evaluasi yang lebih baik.

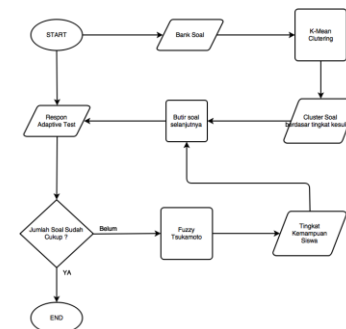
Untuk flow chart sistem CAT seperti gambar di bawah :



Gambar 6. Flow Chart Sistem CAT Tahapan Fuzzy

Tujuan ahir dari produk ini adalah memberikan respon butir soal yang sesuai dengan kemampuan siswa berdasarkan tingkat kemampuan siswa dengan perhitungan menggunakan algoritma Fuzzy, yang menggunakan 3 variabel dalam prosesnya yaitu :

- Daya beda soal
- Tingkat kemampuan siswa
- Tingkat kesulitan soal



Gambar 7. Flow chart algoritma

dicocokkan dengan *cluster* soal yang sesuai yang sudah di *cluster* dengan K-mean. Oleh karena itu kita perlu membentuk aturan lagi untuk menghubungkan *cluster* soal dengan tingkat kemampuan siswa. Karena range tingkat kemampuan siswa di batasi dari -3 sampai + 3 dan clustering soal di buat 4 kluster maka tabel aturan penyetaraan yang terbentuk adalah :

Tabel 4. Tabel penyetaraan tingkat kemampuan hasil fuzzy tsukamoto dengan clustering K-mean

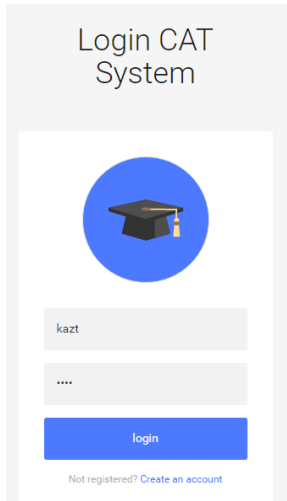
no	Tingkat kemampuan	Cluster soal
1	-3 s/d -1,4	C 1
2	-1,5 s/d -0,1	C 2
3	0 s/d 1,4	C 3
4	1,5 s/d 3.0	C 4

Nb. Semakin tinggi *cluster* soal, maka tingkat kesulitan siswa semakin tinggi pula.

Skenario Uji Coba

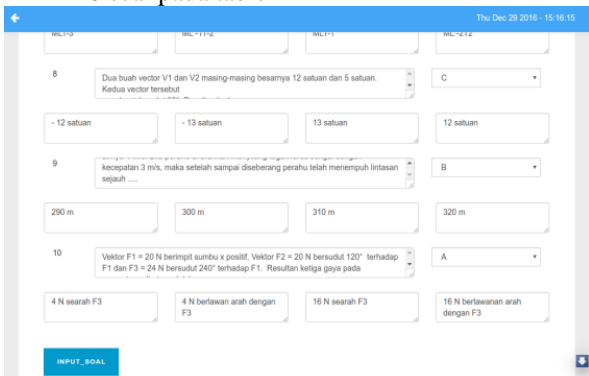
Website bisa diakses pada alamat <http://nurhidayat-agung.com/cat/>

1. Login untuk masuk sistem baik untuk guru atau murid



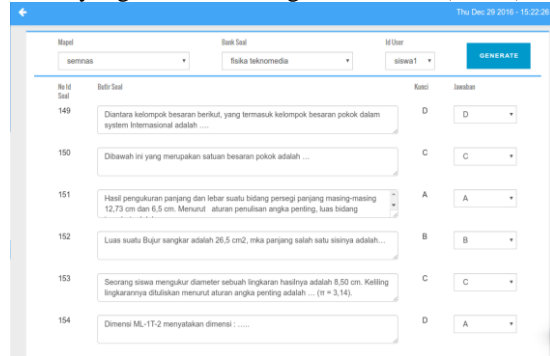
Gambar 8. Login System CAT

2. Guru Membuat mendaftarkan banksoal lalu menginputkan soal sesuai banksoalnya, dalam hal ini 10 soal pada table 1



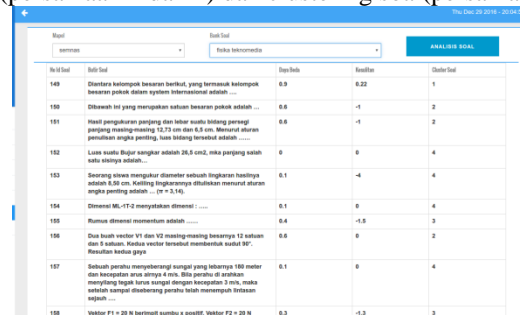
Gambar 9. Menu Input Soal Guru

3. Kemudian guru menginputkan hasil jawaban 10 siswa yang dilakukan dengan tes tertulis(klasik)



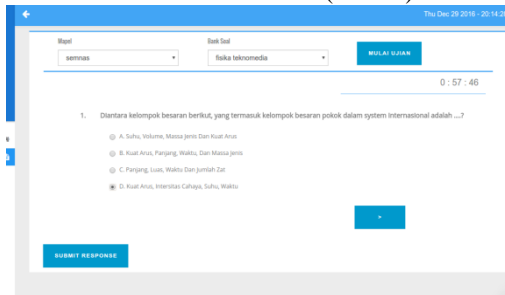
Gambar 10. Menu Submit Response

4. Selanjutnya guru melakukan analisis bobot (persamaan 1 dan 2) dan clustering soal(persamaan 4)



gambar 11. Menu Analisis dan Klustering Soal

5. Adaptive test siap dilakukan, dalam sistem ini kami membuat rule soal yang pertama disajikan adalah soal termudah sehingga butir soal yang di jasikan pertama kali adalah butir soal 1(tabel 1)



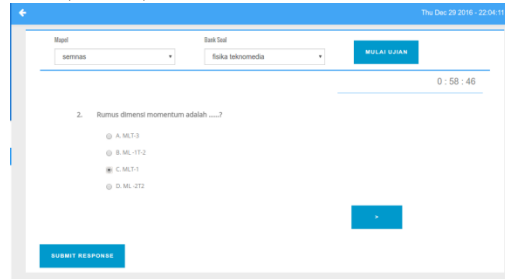
gambar 12. Adaptive test dimulai

6. Jika peserta menjawab benar, maka alur logika Fuzzy Tsukamoto akan bekerja dengan menggunakan persamaan 5 dan 6 maka di temukan nilai keanggotaan kesulitan dan daya beda untuk soal nomor 1 :
 $\mu_b \text{ turun}[0.9] = 0.35$ $\mu_a \text{ turun}[0.22] = 0.46$
 $\mu_b \text{ naik}[0.9] = 0.35$ $\mu_a \text{ naik}[0.22] = 0.54$

7. Kemudian dari nilai keanggotaan diatas dimasukan kedalam rule(persamaan 8) untuk mencari nilai α predikan dan nilai z(tingkat kemampuan)
 $\alpha \text{ predikat 1} = 0.35$ $z1 = 0.9$
 $\alpha \text{ predikat 2} = 0.35$ $z1 = 0.9$
 $\alpha \text{ predikat 3} = 0.54$ $z1 = 0.24$
 $\alpha \text{ predikat 4} = 0.46$ $z1 = -0.24$

Kemudian ditemukan nilai rerata $z = 0.39$ (persamaan 10). Dimana termasuk dalam cluster 3(tabel 4).

8. Sehingga butir soal selanjutnya adalah butir soal pada cluster soal 3(gambar 11) yaitu butir soal nomor 7 dan 10(tabel 1).



gambar 13. Pemilihan Soal dengan Fuzzy Logic

Hasil Penelitian

Dari percobaan diatas terbukti bahwa sistem ini mampu memilihkan butir soal sesuai kemampuan siswa dengan menggunakan Fuzzy Logic yang outputnya di kombinasi dengan algoritma clustering K-means. Kombinasi ini yang menjadi kelebihan dari sistem ini, karena jika tidak dikombinasi bisa saja suatu keadaan terjadi dimana nilai output dari fuzzy(tingkat kemampuan) tidak ada yang setara dengan soal yang tersedia, sehingga perlu dibuat sebuah range pengklusteran soal untuk mengcover seluruh range dari output fuzzy logic.

3. Kesimpulan

Kelebihan Web Tool ini dibanding sistem CAT yang sudah ada adalah menggunakan perpaduan algoritma *fuzzy* dan *clustering* (data mining) sehingga sistem cerdas ini bisa benar-benar adaptif baik dalam memberikan penilaian maupun dalam hal *mining* data. *Cluster* soal akan selalu berubah sesuai dengan semua data yang masuk (semua parameter), sangat *scalable* dan memiliki kemampuan *self learning* dalam menentukan rentang *cluster* soal sesuai dengan data respon yang diterimanya. Kemudian sistem cerdas ini juga bisa menilai secara adaptif siswa yang belum pernah mengikuti tes, karena untuk nilai tingkat kemampuan siswa disetarakan, tidak menggunakan metode *likelihood* yang memiliki kelemahan : siswa yang dapat mengikuti *adaptive test* hanya siswa yang sudah mengikuti tes klasik hal ini semakin membuat sistem ini sangat *scalable* tanpa menghilangkan sifat adaptifnya. Saran untuk pengembangan sistem ini diperbanyak jumlah soal dan pengklusteran soal sehingga butir soal yang dipilih untuk disajikan dalam *adaptive test* lebih presisi sesuai dengan tingkat kemampuan siswa.

Daftar Pustaka

[1] Baumgartner, T.A., & Jackson, A.S. (1995). Measurement for evaluation in *physical education and exercise science* (5th ed.). New York: WCB Brown & Benchmark Publishers.

[2] M. Goyal, D. Yadav and A. Choubey, "Fuzzy logic approach for adaptive test sheet generation in e-learning," *2012 IEEE International Conference on Technology Enhanced Education (ICTEE)*, Kerala, 2012, pp. 1-4.

[3] Luger, G.F. (2005). *Artificial intelligence, structure and strategies for complex problem solving* (5th ed). New York: Addison Wesley.

[4] Terano, T., Asai, K., & Sugeno, M. (1992). *Fuzzy systems theory and its applications*. New York: Academic Press, Inc.

[5] C. Boopathiraj & K. Chellamani, "Analysis of Test Items on Difficulty Level and Discrimination Index in The Test for Research in Education" in *International Journal of Social Science & Interdisciplinary Research*, vol.2 (2), pp.189-193, February, 2013.

[6] Braker, Frank B. (2001). *The Basics of Item Response Theory*. USA : ERIC Clearing House.

[7] Ware Jr., John E.; Gandek, Barbara; Sinclair, Samuel J.; Bjorner, Jakob B., "Item response theory and computerized adaptive testing: Implications for outcomes measurement in rehabilitation" in *Rehabilitation Psychology*, Vol 50(1), Feb 2005, 71-78..

[8] Hambleton, R.K. & Swaminathan, H, *Item response theory*, Boston, MA : Kluwer Inc, 1985.

[9] Suri, Mutiah Pratama. 2013. *Pengembangan Computerized Adaptive Testing (CAT) untuk Mendagnosis Kemampuan Kognitif Siswa pada Pembelajaran IPA (Fisika) SMP*. Skripsi. Yogyakarta : UNY.

Biodata Penulis

Agung Nur Hidayat, mahasiswa aktif STMIK AMIKOM angkatan 2014, Jurusan Teknik Informatika S1.

Arief Turbagus Nuril mahasiswa aktif STMIK AMIKOM angkatan 2014, Jurusan Teknik Informatika S1.

Atyasa Anindita mahasiswa aktif Universitas Yogyakarta angkatan 2012, Jurusan Pendidikan Fisika S1.

