

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori yang digunakan dalam penelitian, yaitu pengelolaan bencana, logika *fuzzy*, dan *mutual information* dalam teori informasi.

2.1 PENGELOLAAN BENCANA

Pengelolaan bencana adalah proses yang dinamis yang meliputi fungsi-fungsi pengelolaan klasik diantaranya perencanaan, pengorganisasian, perekrutan, kepemimpinan, dan pengawasan. Pengelolaan bencana juga melibatkan banyak organisasi yang saling bekerja sama untuk melakukan tindakan pencegahan, pengurangan dampak bencana, persiapan untuk datangnya bencana, bereaksi dengan cepat saat bencana datang, dan pemulihan setelah terjadinya bencana.

Pengelolaan bencana didefinisikan sebagai suatu ilmu pengetahuan terapan yang berupaya, dengan melakukan penelitian secara sistematis dan analisis bencana, untuk meningkatkan tindakan-tindakan yang berhubungan dengan proses pencegahan, pengurangan dampak bencana, persiapan datangnya bencana, tanggap darurat, dan pemulihan (Carter, 1991).

Pengelolaan bencana pada dasarnya merupakan suatu siklus terpadu yang terdiri atas enam fase. Fase tersebut dimulai dari upaya penyelamatan dan evakuasi korban bencana disebut juga fase tanggap darurat. Kemudian dilanjutkan dengan pemulihan kondisi fisik dan mental korban bencana dan fase rehabilitasi pemukiman, sarana dan prasarana. Fase berikutnya, perlindungan, dirancang untuk meredam terjadinya bencana atau untuk melindungi masyarakat, instalasi penting dari bencana susulan. Dalam fase ini biasanya dilakukan rekayasa-rekayasa teknik, seperti membangun bangunan tahan gempa. Selanjutnya, fase mitigasi dilakukan upaya-upaya untuk meminimalkan dampak dari bencana yang akan terjadi, yaitu suatu program untuk mengurangi pengaruh suatu bencana terhadap masyarakat atau komunitas, perencanaan tata ruang, pengaturan tata guna lahan, penyusunan peta kerentanan bencana, pemantauan dan penelitian dan pengembangan. Adakalanya tahap perlindungan dan mitigasi menjadi satu kegiatan.

Fase selanjutnya adalah persiapan, yang merupakan suatu kegiatan atau aktivitas yang dilaksanakan sebagai persiapan untuk menghadapi bencana, agar pemerintah, organisasi, komunitas, dan individu mampu menghadapi bencana secara cepat dan efektif. Kegiatan dalam fase ini mencakup antara lain: penyusunan metode peringatan dini, menyiapkan jaringan komunikasi, sosialisai, pendidikan, dan pelatihan kepada masyarakat untuk waspada terhadap bencana, dan program pendidikan dan pelatihan untuk pengelolaan bencana. Tiga fase pertama dilakukan setelah terjadinya bencana untuk menyelamatkan korban, sedangkan tiga fase terakhir adalah persiapan dalam menghadapi bencana (Anwar, 2005).

Selama ini, pengelolaan bencana yang dilakukan oleh pemerintah Indonesia terkait dalam empat hal. Pertama, terkait aspek regulasi dimana salah satu faktor yang mengakibatkan tidak efektifnya pengelolaan bencana adalah tidak adanya perangkat regulasi ataupun kebijakan terpadu sejenis yang memadai untuk menangani bencana dan pengungsi. Kedua, terkait penggunaan militer untuk pengelolaan bencana yang merupakan pemanfaatan dari kekuatan tentara yang tidak terpakai (*idle-capacity*). Ketiga, terkait kerjasama sipil-militer (CIMIC/Civil-Military Cooperation) dan aktor internasional. Keempat, terkait potensi masyarakat lokal dalam pengurangan resiko bencana (Sinaga).

2.2 DEFINISI BENCANA

Istilah kata disaster yang berarti bencana, berasal dari bahasa Prancis "*Desaster*", dimana merupakan perpaduan dari dua kata, yaitu "*des*" yang berarti buruk/berbahaya dan "*aster*" yang berarti bintang. Maka secara harfiah, disaster atau bencana dapat merujuk pada "bintang yang berbahaya". Bencana dapat didefinisikan sebagai gangguan atau kekacauan dalam fungsi pada suatu komunitas atau masyarakat yang menyebabkan kerugian yang tersebar luas baik dalam segi materi, ekonomi, sosial masyarakat maupun keadaan lingkungan, dimana kerugian tersebut melampaui kemampuan wilayah yang terkena bencana untuk mengatasi dengan sumber dayanya sendiri (Dey & Singh, 2006).

Definisi lain tentang bencana cenderung merefleksikan karakteristik berikut ini (Carter, 1991):

- Gangguan atau kekacauan pada pola hidup. Gangguan atau kekacauan ini biasanya berakibat fatal dan dapat datang dengan tiba-tiba, tidak disangka dan cakupan wilayah yang luas.
- Berdampak pada manusia seperti kehilangan jiwa, luka-luka, dan berdampak buruk pada kesehatan.
- Berdampak pada infrastruktur sosial dan sarana/prasarana umum misalnya kerusakan sistem pemerintah, gedung-gedung, sarana komunikasi dan infrastruktur pelayanan penting lainnya.
- Keperluan mendasar masyarakat korban bencana seperti tempat perlindungan sementara, makanan, pakaian, kebutuhan akan obat-obatan dan tenaga medis, dan perhatian masyarakat luas.

Definisi tentang bencana yang dikemukakan dalam (Carter, 1991) adalah suatu peristiwa, baik yang disebabkan oleh alam maupun disebabkan oleh tangan manusia, terjadi dengan tiba-tiba dan berkelanjutan, yang menimbulkan dampak yang dahsyat sehingga masyarakat terkena bencana harus menanggapi dengan mengambil tindakan-tindakan yang diperlukan dalam batas kewajaran.

Definisi lain tentang bencana diambil dari Naskah Akademik RUU Tentang Penanganan Bencana (Panja Komisi VIII DPR RI, 2005a), adalah suatu gangguan serius terhadap keberfungsian suatu masyarakat sehingga menyebabkan kerugian yang meluas pada kehidupan manusia dari segi materi, ekonomi atau lingkungan dan yang melampaui kemampuan masyarakat tersebut untuk mengatasi dengan menggunakan sumber daya-sumber daya mereka sendiri (Kodoatie & Sjarief, 2006).

Dalam Ayat 1. Pasal 1 Draft Rancangan Undang-Undang (RUU) Tentang Penanggulangan Bencana (Panja Komisi VIII DPR RI, 2005b) menyebutkan bahwa bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam, manusia dan/atau oleh keduanya yang mengakibatkan timbulnya korban manusia,

kerugian harta benda, kerusakan prasarana/sarana, lingkungan dan utilitas umum serta menimbulkan gangguan terhadap tata kehidupan dan penghidupan masyarakat. Ayat 2 menyebutkan bencana alam adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam yang mengakibatkan timbulnya korban manusia, kerugian harta benda, kerusakan prasarana/sarana, lingkungan dan utilitas umum serta menimbulkan gangguan terhadap tata kehidupan dan penghidupan masyarakat (Kodoatie & Sjarief, 2006).

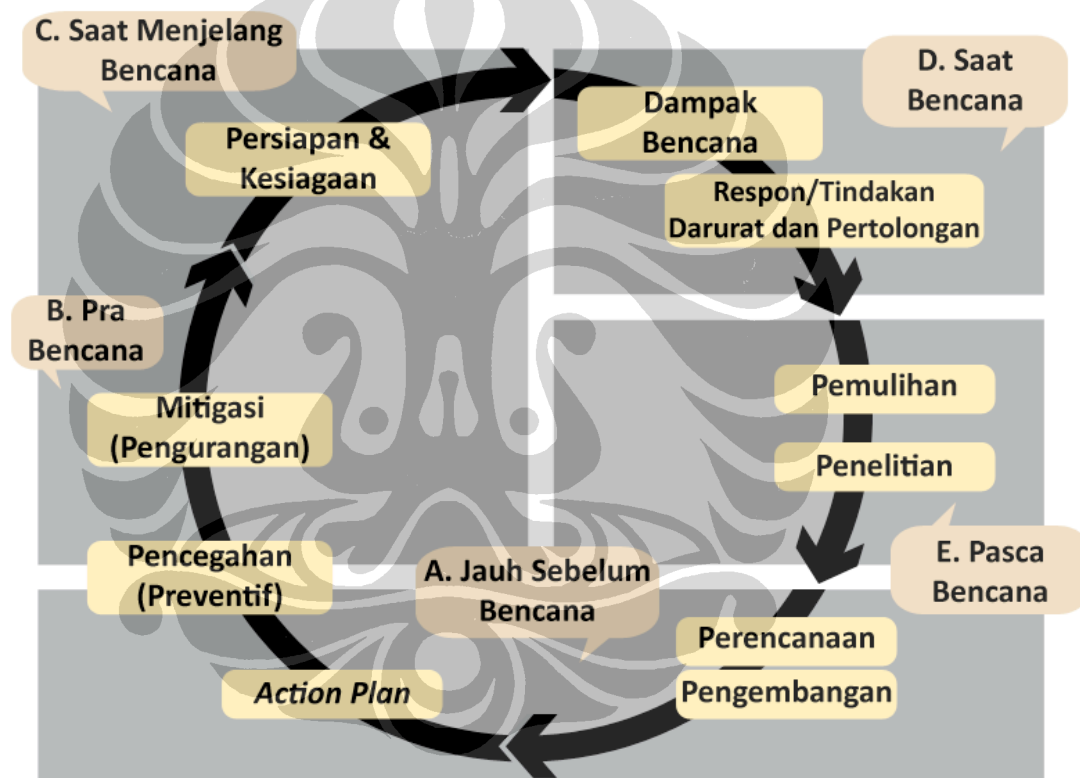
Bencana terjadi ketika suatu bahaya yang berdampak pada populasi yang rentan terhadap bahaya dan menyebabkan kerusakan dan kekacauan. Gambar 4 memberikan ilustrasi yang lebih baik mengenai keterkaitan antara bencana, bahaya, dan kerentanan suatu populasi. Bahaya apapun yang memicu terjadinya bencana pada suatu populasi yang rentan terhadap bencana akan menyebabkan kehilangan yang besar baik jiwa maupun harta. Sebagai contoh, gempa bumi yang terjadi pada suatu gurun yang tidak berpenghuni tidak dapat dikatakan sebagai bencana, betapa pun besarnya kekuatan gempa bumi yang terjadi. Gempa bumi dikatakan berbahaya hanya jika gempa bumi memberikan dampak ke masyarakat, baik jiwa, harta benda maupun aktivitas. Dengan demikian, suatu bencana akan terjadi apabila bahaya dan kerentanan suatu populasi bertemu (Dey & Singh, 2006).



Gambar 4 Definisi bencana (Dey & Singh, 2006)

2.3 SIKLUS PENGELOLAAN BENCANA

Siklus pengelolaan bencana merupakan bentuk indikasi bahwa bencana dan proses pengelolaannya merupakan suatu aktivitas yang berkelanjutan dan bukanlah suatu rangkaian aktivitas yang berawal dan berakhir setiap kali terjadi bencana. Siklus pengelolaan bencana secara umum menggambarkan proses-proses pengelolaan bencana yang pada intinya merupakan tindakan-tindakan nyata dari sebelum-terjadinya-bencana, pra-bencana, saat menjelang bencana, saat bencana dan pasca bencana. Siklus pengelolaan bencana ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengelola hampir semua bencana. Siklus bencana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Siklus pengelolaan bencana (Kodoatie & Sjarief, 2006)

2.3.1 Jauh Sebelum Bencana

Hasil studi/penelitian pasca bencana merupakan salah satu pertimbangan dasar untuk perencanaan dan pengembangan pengelolaan bencana (Kodoatie & Sjarief, 2006).

- Investigasi lapangan

- Pengumpulan data primer dan data sekunder
- Analisis dan kajian penyebab bencana
- Kesimpulan
- Implementasi hasil studi/penelitian dengan tahapan sebagai berikut:
 1. Tahap studi lanjut yang komprehensif (jika diperlukan)
 2. Perencanaan
 3. Pelaksanaan pembangunan (perbaikan, pemeliharaan, pembangunan baru)
 4. Proses operasi
 5. Pemeliharaan
 6. Pengawasan dan evaluasi

2.3.3 Pra-Bencana Sampai Menjelang Bencana

Beberapa aktivitas yang perlu dilakukan dalam tahap ini meliputi: tindakan pencegahan, mitigasi, persiapan dan kesiagaan (Kodoatie & Sjarief, 2006).

2.3.3.1 Tindakan Pencegahan

Suatu tindakan untuk mencegah terjadinya bencana dan/atau mencegah terjadinya efek yang berbahaya pada komunitas atau instalasi yang penting.

Klasifikasi umum dalam tindakan pencegahan adalah sebagai berikut (Kodoatie & Sjarief, 2006):

- Lembaga dan instansi terkait harus terlibat dalam usaha pencegahan; sebagai contoh pengaturan penggunaan lahan yang menjamin bahwa masyarakat tidak membangun di daerah yang rawan; misalnya daerah rawan bencana banjir, atau pengaturan penggunaan lahan yang sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah untuk tidak menimbulkan peningkatan bencana.
- Hal-hal yang juga perlu diperhatikan dalam upaya pencegahan bencana:
 - Perencanaan Pembangunan Nasional
 - Kebijakan Pengelolaan Bencana Nasional
 - Undang-Undang atau peraturan bencana
 - Perencanaan pertolongan bencana
 - Pengaruh bencana di daerah-daerah tertentu, misalnya: daerah padat penduduk.

2.3.3.2 Mitigasi

Tindakan-tindakan yang bertujuan untuk mengurangi dampak bencana baik dampak ke komunitas yaitu jiwa, harta benda maupun dampak ke infrastruktur. Tindakan mitigasi hampir bersamaan dengan tindakan pencegahan.

Asian Development Bank (ADB) menyebutkan elemen-elemen penting dalam menentukan rencana tindak untuk mitigasi bencana bagi negara-negara berkembang dalam 10 prinsip mitigasi bencana seperti ditunjukkan oleh tabel 1 berikut (Kodoatie & Sjarief, 2006):

Tabel 1 Sepuluh prinsip mitigasi bencana

No.	Uraian	Substansi
1.	Bencana memberikan kesempatan yang langka dan khusus untuk memperkenalkan tindakan mitigasi.	Inisiasi
2.	Mitigasi dapat diperkenalkan dengan tiga macam konteks: rekonstruksi, investasi baru dan kondisi lingkungan yang ada. Masing-masing menunjukkan kesempatan yang berbeda untuk mengenalkan tindakan-tindakan mitigasi.	
3.	Tindakan mitigasi merupakan tindakan yang kompleks dan interdependen, dan mencakup tanggung jawab yang besar dan luas.	Pengelolaan
4.	Mitigasi akan menjadi sangat efektif jika tindakan-tindakan mitigasi bencana disebarluaskan melalui variasi kegiatan atau aktivitas terpadu.	
5.	Tindakan mitigasi aktif yang mengandalkan pada insentif akan lebih efektif daripada tindakan mitigasi pasif yang berdasarkan hukum dan pengendalian yang ketat.	
6.	Mitigasi harus terintegrasi dan tidak terisolasi atau terabaikan dari elemen perencanaan bencana terkait. Mitigasi adalah bagian yang penting dari proses pengelolaan bencana.	
7.	Dalam kondisi sumber daya yang terbatas, prioritas harus diberikan untuk perlindungan kelompok sosial, pelayanan	
		Penentuan prioritas

	kritis dan sektor ekonomi vital.	
8.	Tindakan mitigasi perlu diawasi dan dievaluasi secara berkala untuk menanggapi perubahan pola bencana dan ketersediaan sumber daya.	Pengawasan dan evaluasi
9.	Tindakan mitigasi harus berkelanjutan sehingga mencegah timbulnya rasa apatis di masyarakat.	Institusionalisasi
10.	Komitmen politis diperlukan untuk permulaan dan pemeliharaan kelangsungan mitigasi.	

2.3.3.3 Persiapan dan Kesiagaan

Suatu aktivitas yang memungkinkan pemerintah, organisasi, komunitas, dan individu untuk menanggapi situasi bencana dengan cepat dan efisien. Tindakan persiapan dan kesiagaan merupakan rangkaian tindakan perencanaan yang meliputi, peringatan, evakuasi, *search and rescue* (SAR), perkiraan kerusakan, dan tanggap darurat (Kodoatie & Sjarief, 2006).

2.3.4 Saat Bencana

Beberapa aktivitas yang dilakukan pada tahap ini meliputi aktivitas-aktivitas yang harus segera dilakukan pada saat bencana terjadi dengan memperhitungkan dampak akibat bencana.

2.3.4.1 Dampak Bencana

Dampak bencana didefinisikan sebagai pengaruh atau segala sesuatu yang terjadi akibat terjadinya bencana. Berbagai dampak yang ditimbulkan oleh terjadinya bencana adalah (Kodoatie & Sjarief, 2006):

- Kematian
- Luka-luka
- Kerusakan dan kehancuran harta benda
- Kerusakan dan kehancuran sumber mata pencaharian
- Gangguan proses produksi
- Gangguan gaya hidup
- Kehilangan tempat tinggal

- Gangguan pelayanan khusus
- Kerusakan infrastruktur
- Gangguan sistem pemerintahan
- Kerugian ekonomi
- Dampak sosiologi dan psikologi

2.3.4.2 Respon dan Pertolongan

Respon merupakan semua tindakan yang segera dilakukan pada saat bencana terjadi. Respon meliputi tindakan-tindakan yang bertujuan untuk penyelamatan korban, perlindungan harta benda, dan tindakan-tindakan yang harus diambil berkaitan dengan kerusakan dan dampak negatif lain yang disebabkan oleh bencana. Karakteristik penting dalam aplikasi tindakan-tindakan respon adalah (Carter, 1991)

- Jenis bencana
- Besarnya kerusakan dan cakupan wilayah bencana
- Kemampuan untuk melakukan aksi tepat sebelum bencana
- Kemampuan untuk operasi pendukung
- Identifikasi kebutuhan-kebutuhan respon lainnya

Pertolongan adalah tindakan berupa bantuan dan pertolongan yang dilakukan segera setelah terjadinya suatu bencana. Tindakan pertolongan termasuk didalamnya adalah tindakan pencarian dan penyelamatan dan pemenuhan kebutuhan dasar bagi korban seperti kebutuhan akan penampungan sementara, air, bahan makanan, dan kesehatan (Kodoatie & Sjarief, 2006).

2.3.5 Pasca Bencana

Aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada tahap ini meliputi aktivitas yang terkait dengan pemulihan dan penelitian.

2.3.5.1 Pemulihan

Pemulihan adalah proses dimana masyarakat dibantu oleh pihak yang berwenang mengembalikan situasi dan kondisi setelah terjadi bencana secara optimal ke situasi dan kondisi normal (sebelum terjadinya bencana) (Kodoatie & Sjarief, 2006).

2.3.5.2 Penelitian

Penelitian lebih dominan kepada pencarian penyebab terjadinya bencana. Penentuan penyebab bencana tertentu dan solusi secara lebih spesifik dijelaskan dan diuraikan. Evaluasi dan pengawasan kegiatan-kegiatan pasca bencana yang sudah dilakukan dikaji untuk referensi dan masukan dalam memperbaharui pengelolaan bencana yang sudah ada (Kodoatie & Sjarief, 2006).

2.4 LOGIKA FUZZY

Logika *fuzzy* adalah logika yang berdasarkan pada teori himpunan *fuzzy* dan pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Dalam logika klasik, logika proposisi adalah kalimat yang memiliki nilai kebenaran ‘benar’ (1) atau ‘salah’ (0). Sedangkan *fuzzy* proposisi dapat memiliki nilai kebenaran dalam interval $[0,1]$. Dalam logika *fuzzy*, operasi negasi (\sim atau \neg), konjungsi (\wedge), dan disjungsi (\vee) juga digunakan seperti halnya dalam logika klasik. Logika *fuzzy* sangat berguna untuk menangani kasus-kasus dimana logika klasik tidak dapat menangani dengan baik, misalnya kasus-kasus yang termasuk ke dalam ranah ambiguitas, seperti definisi tinggi, definisi cepat, definisi mengenai temperatur panas atau dingin. Dalam dunia nyata, perbedaan definisi ini memegang peranan penting dalam pola pikir manusia, khususnya dalam ranah pengenalan pola, komunikasi informasi, dan abstraksi (Zadeh, 1965).

Secara garis besar sejarah perkembangan logika *fuzzy* dapat dijabarkan sebagai berikut (Widyanto, 2008):

- **1965:** Teori himpunan *fuzzy* diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh
- **1974:** Prof. Ebrahim Mamdani mengemukakan aturan *Fuzzy* IF-THEN untuk operasi mesin otomatis dan menandai era aplikasi kontrol *fuzzy* pada bidang industri.
- **1980:** Aplikasi industri menggunakan sistem kontrol *fuzzy* otomatis pada pabrik semen di Denmark
- **1987:** Aplikasi kontrol *fuzzy* pada alat elektronik pertama kali diperkenalkan oleh Luiz E. Borges da Silva

- **1990:** Terjadi ‘Fuzzy Boom’ untuk aplikasi logika *fuzzy* pada produksi alat-alat elektronik rumah tangga di Jepang.

Definisi (Logika Fuzzy) logika *fuzzy* adalah logika yang dimisalkan dengan ekspresi *fuzzy* yang memenuhi (Lee, 2005):

- Nilai kebenaran. 0 dan 1, variabel X_i ($\in [0,1]$, $i = 1, 2, \dots, n$) adalah ekspresi *fuzzy*.
- Jika f adalah ekspresi *fuzzy*, maka $\sim f$ juga ekspresi *fuzzy*.
- Jika f dan g adalah ekspresi *fuzzy*, maka $f \wedge g$ dan $f \vee g$ juga merupakan ekspresi *fuzzy*.

Beberapa operator yang digunakan dalam ekspresi fuzzy seperti \neg (negasi), \wedge (konjungsi), \vee (disjungsi), \rightarrow (implikasi). Walaupun definisi dari operator mungkin berbeda sesuai dengan literatur yang digunakan. Jika menggunakan definisi dari Lukasiewicz, operator-operator tersebut didefinisikan sebagai berikut untuk $a, b \in [0,1]$, (Lee, 2005)

- Negasi: $\bar{a} = 1 - a$
- Konjungsi: $a \wedge b = \min(a,b)$
- Disjungsi: $a \vee b = \max(a,b)$
- Implikasi: $a \rightarrow b = \min(1, 1 + b - a)$

Sifat-sifat dari operator ekspresi *fuzzy* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Sifat-sifat operator ekspresi *fuzzy* (Lee, 2005)

Involusi	$\bar{\bar{a}} = a$
Komutatif	$a \wedge b = b \wedge a$ $a \vee b = b \vee a$
Asosiatif	$(a \wedge b) \wedge c = a \wedge (b \wedge c)$ $(a \vee b) \vee c = a \vee (b \vee c)$
Distributif	$a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$ $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$
Idempoten	$a \wedge a = a$ $a \vee a = a$

Absorbtion	$a \vee (a \wedge b) = a$ $a \wedge (a \vee b) = a$
Absorbstion oleh 0 dan 1	$a \wedge 0 = 0$ $a \vee 1 = 1$
Identitas	$a \wedge 1 = a$ $a \vee 0 = a$
Hukum De Morgan	$\overline{a \wedge b} = \overline{a} \vee \overline{b}$ $\overline{a \vee b} = \overline{a} \wedge \overline{b}$

Saat ini logika *fuzzy* banyak diaplikasikan kedalam berbagai bidang, misalnya dalam bidang industri alat elektronik rumah tangga, contohnya mesin cuci, logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan putaran yang tepat secara otomatis berdasarkan jenis dan banyaknya kotoran serta jumlah pakaian yang dicuci. Dalam bidang ilmu kedokteran dan biologi, logika *fuzzy* digunakan untuk mendeteksi kanker, sedangkan dalam dalam bidang ilmu lingkungan, logika *fuzzy* digunakan sebagai kendali kualitas air. Penggunaan logika *fuzzy* tersebut tidak terlepas dari alasan-alasan berikut ini (Widyanto, 2008):

- Konsep logika *fuzzy* mudah untuk dimengerti
- Logika *fuzzy* sangat fleksibel
- Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat
- Dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami

2.5 HIMPUNAN FUZZY

Himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang memiliki derajat keanggotaan tertentu. Andaikan X adalah himpunan semua titik, dengan elemen dari X dinotasikan oleh x , sehingga $X = \{x\}$. Himpunan *fuzzy* A pada X ditandai dengan fungsi keanggotaan (*membership function* atau *characteristic function*) $f_A(x)$ yang berhubungan dengan setiap titik bilangan riil di X dalam interval $[0,1]$, dengan nilai $f_A(x)$ di titik x menunjukkan derajat keanggotaan x di A . Ketika A adalah himpunan logika proposisi,

fungsi keanggotaannya hanya memiliki dua nilai 0 dan 1, dengan $f_A(x) = 1$ atau 0 tergantung apakah x termasuk dalam A atau tidak (Zadeh, 1965).

Definisi (Fungsi keanggotaan dalam himpunan fuzzy) Dalam himpunan *fuzzy*, jika X adalah himpunan semesta, maka fungsi keanggotaan A pada X , dinotasikan dengan μ_A , akan dipetakan ke $[0,1]$ (Zadeh, 1965).

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

Dimana $[0,1]$ adalah bilangan riil antara 0 dan 1.

Himpunan *fuzzy* memiliki karakteristik sebagai berikut (Zadeh, 1965):

- Himpunan *fuzzy* merupakan himpunan kosong jika dan hanya jika fungsi keanggotaannya identik dengan nol dalam X .
- Dua himpunan *fuzzy* A dan B dikatakan sama, ditulis sebagai $A = B$, jika dan hanya jika $f_A(x) = f_B(x)$ untuk semua x dalam X .
- Komplemen dari himpunan *fuzzy* A dinotasikan dengan A' dan didefinisikan sebagai $f_{A'}(x) = 1 - f_A(x)$.
- Himpunan *fuzzy* A adalah subset himpunan *fuzzy* B atau himpunan *fuzzy* A lebih kecil sama dengan himpunan *fuzzy* B , jika dan hanya jika $f_A(x) \leq f_B(x)$.

$$A \subset B \Leftrightarrow f_A(x) \leq f_B(x)$$

- Operasi gabungan (*union*) dua himpunan *fuzzy* A dan B dengan fungsi keanggotaan $f_A(x)$ dan $f_B(x)$ adalah himpunan *fuzzy* C , dituliskan dengan $C = A \cup B$, dengan fungsi keanggotaannya didefinisikan dengan:

$$f_C(x) = \max(f_A(x), f_B(x)), \text{ untuk } x \in X$$

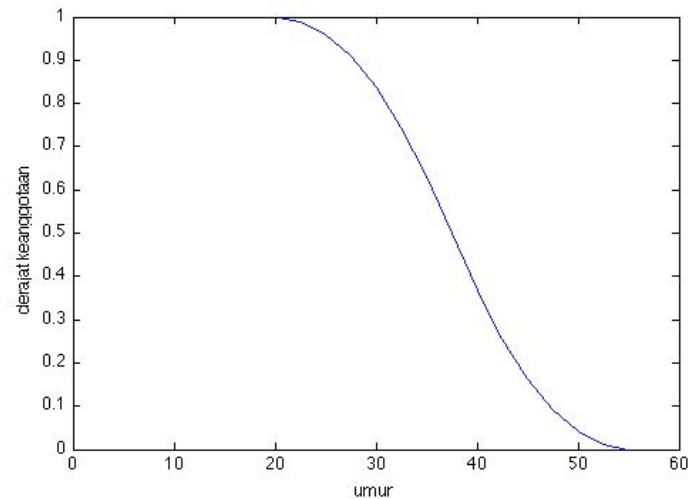
- Operasi irisan (*intersection*) dua himpunan *fuzzy* A dan B dengan fungsi keanggotaan $f_A(x)$ dan $f_B(x)$ adalah himpunan *fuzzy* C , dituliskan dengan $C = A \cap B$, dengan fungsi keanggotaannya didefinisikan dengan:

$$f_C(x) = \min(f_A(x), f_B(x)), \text{ untuk } x \in X$$

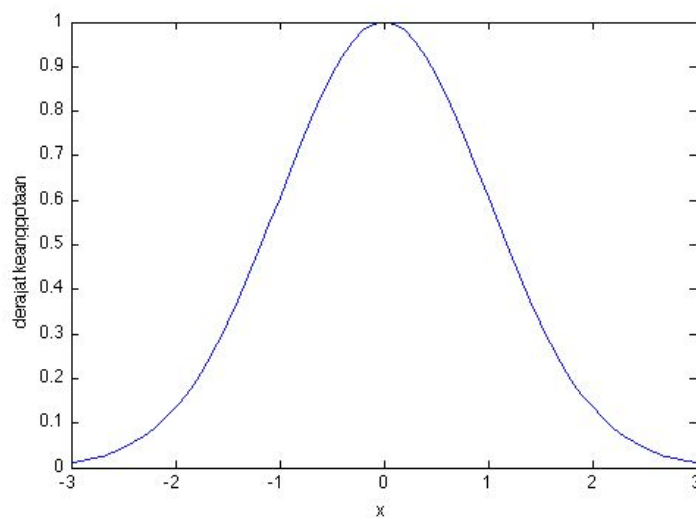
2.5.1 Representasi Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan *fuzzy* dapat direpresentasikan dalam bermacam-macam bentuk kurva. Representasi bentuk kurva ini dapat berbeda antara satu kasus dengan kasus

lainnya, misalnya fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* “muda” direpresetasikan dengan bentuk kurva Z. Sedangkan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* “bilangan riil yang dekat dengan 0” direpresentasikan dengan bentuk kurva Gauss (Lee, 2005).



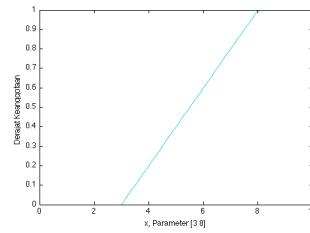
Gambar 6 Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* “umur”



Gambar 7 Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* “bilangan riil dekat 0”

Representasi bentuk kurva yang dikenal sampai saat ini adalah (Widyanto, 2008):

- Representasi kurva Linear

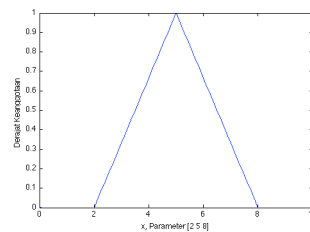


Gambar 8 Representasi kurva Linear [3 8]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b))

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

- Representasi kurva Segitiga

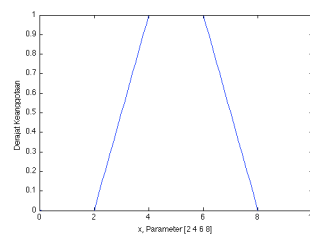


Gambar 9 Representasi kurva Segitiga [2 5 8]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b, c))

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b \leq x \leq c \end{cases}$$

- Representasi kurva Trapesoidal

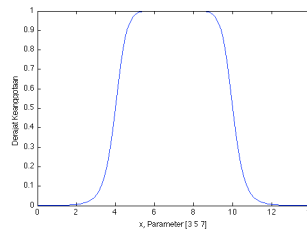


Gambar 10 Representasi kurva Trapesoidal [2 4 6 8]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b, c, d))

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

- Representasi kurva Generalisasi Bell

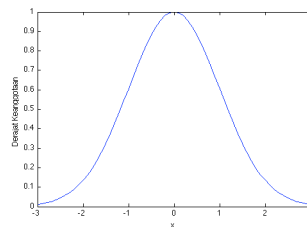


Gambar 11 Representasi kurva Generalisasi Bell [3 5 7]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b, c))

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

- Representasi kurva Gauss

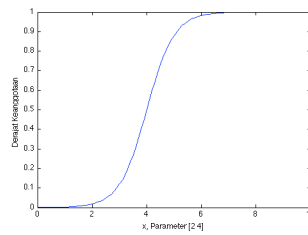


Gambar 12 Representasi kurva Gauss

Fungsi keanggotaan (parameter (σ , c))

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

- Representasi kurva Sigmoid

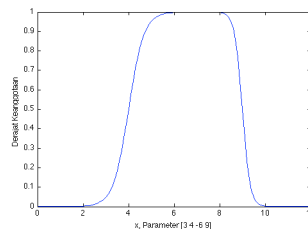


Gambar 13 Representasi kurva Sigmoid [2 4]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, c))

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$$

- Representasi kurva PSigmoid



Gambar 14 Representasi kurva PSigmoid [3 4 -6 9]

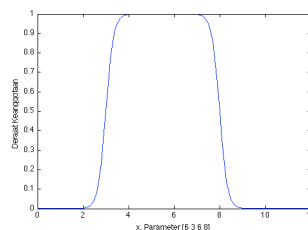
Kurva PSigmoid merupakan hasil kali dua fungsi Sigmoidal. Kurva PSigmoid bergantung pada empat parameter $[a_1 \ c_1 \ a_2 \ c_2]$.

Fungsi keanggotaan (parameter (a_1, c_1, a_2, c_2))

$$\mu_A(x) = \text{Sig}(x; a_1, c_1) \times \text{Sig}(x; a_2, c_2)$$

$$\mu_A(x) = \left[\left(\frac{1}{1 + e^{-a_1(x-c_1)}} \right) \times \left(\frac{1}{1 + e^{-a_2(x-c_2)}} \right) \right]$$

- Representasi kurva DSigmoid



Gambar 15 Representasi kurva DSigmoid [6 3 6 8]

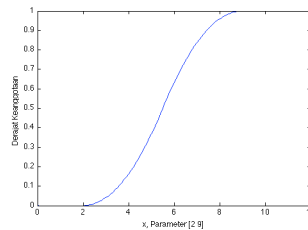
Kurva DSigmoid merupakan hasil pengurangan dua fungsi Sigmoidal. Kurva DSigmoid bergantung pada empat parameter $[a_1 \ c_1 \ a_2 \ c_2]$.

Fungsi keanggotaan (parameter (a_1, c_1, a_2, c_2))

$$\mu_A(x) = \text{Sig}(x; a_1, c_1) - \text{Sig}(x; a_2, c_2)$$

$$\mu_A(x) = \left[\left(\frac{1}{1 + e^{-a_1(x-c_1)}} \right) - \left(\frac{1}{1 + e^{-a_2(x-c_2)}} \right) \right]$$

- Representasi kurva S

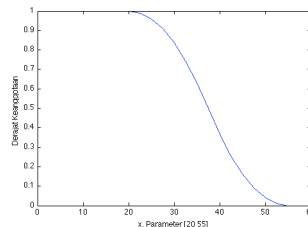


Gambar 16 Representasi kurva S [2 9]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b))

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left[x - \frac{a}{b-a} \right]^2, & a \leq x \leq \frac{(a+b)}{2} \\ 1 - 2 \left[\frac{(b-x)}{(b-a)} \right]^2, & \frac{(a+b)}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

- Representasi kurva Z

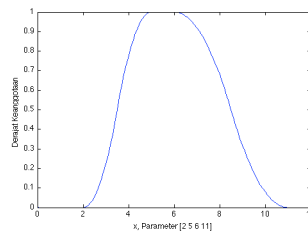


Gambar 17 Representasi kurva Z [20 55]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, c))

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left[\frac{(x-a)}{(b-a)} \right]^2, & a \leq x \leq \frac{(a+b)}{2} \\ 2 \left[b - \frac{x}{b-a} \right]^2, & \frac{(a+b)}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

- Representasi kurva Phi



Gambar 18 Representasi kurva Phi [2 5 6 11]

Kurva Phi merupakan hasil kali fungsi pembentuk kurva S dan fungsi pembentuk kurva Z. Kurva Phi bergantung pada empat parameter [a b c d]

Fungsi keanggotaan (parameter (a, b, c, d))

$$\mu_A(x) = [S(x, a, b) \times Z(x, c, d)]$$

2.5.2 Fuzzy Negation, t-norms dan t-conorms

Himpunan *fuzzy* memiliki tiga buah operator yaitu *fuzzy negation*, t-norms dan t-conorms. T-norms dapat juga disebut sebagai *triangular-norm* dan t-conorms sebagai *triangular-conorm*. Berikut ini akan dijelaskan lebih lanjut tentang ketiga operator tersebut.

2.5.2.1 Fuzzy Negation

Fuzzy negation adalah operasi negasi yang digunakan pada himpunan *fuzzy* dan dituliskan dengan notasi $^{(n)}$. Berdasarkan definisi, *fuzzy negation* adalah sebuah fungsi $^{(n)} : [0,1] \rightarrow [1,0]$ yang memenuhi sifat-sifat berikut:

1. $0^{(n)} = 1$
2. $\forall x_1, x_2 \in [1,0] \quad x_1^{(n)} > x_2^{(n)}$ jika $x_1 < x_2$
3. $\forall x \in [1,0] \quad (x^{(n)})^{(n)} = x$

2.5.2.2 t-norms

t-norms adalah operasi konjungsi yang digunakan pada himpunan *fuzzy*. Pada laporan ini, t-norms dituliskan dengan notasi T. Berdasarkan definisi, t-norms adalah sebuah fungsi $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [1,0]$ yang memenuhi sifat-sifat berikut:

$$\forall x, x_1, x_2, x_3 \in [1,0]$$

1. $T(x,0) = 0$ dan $T(x,1) = x$
2. $T(x_1, x_2) = T(x_2, x_1)$
3. $T(x_1, T(x_2, x_3)) = T(T(x_1, x_2), x_3)$

$$4. \quad T(x_1, x_3) \leq T(x_2, x_3) \text{ jika } x_1 \leq x_2$$

2.5.2.3 t-conorms

t-conorms adalah operasi disjungsi yang digunakan pada himpunan *fuzzy*. Pada laporan ini, t-conorms dituliskan dengan notasi \perp . Berdasarkan definisi, t-conorms adalah sebuah fungsi $\perp: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ yang memenuhi sifat – sifat berikut:

$$\forall x, x_1, x_2, x_3 \in [0,1]$$

1. $\perp(x, 0) = x, \perp(x, 1) = 1$
2. $\perp(x_1, x_2) = \perp(x_2, x_1)$
3. $\perp(x_1, \perp(x_2, x_3)) = \perp(\perp(x_1, x_2), x_3)$
4. $\perp(x_1, x_3) \leq \perp(x_2, x_3) \text{ jika } x_1 \leq x_2$

2.6 INFERENSI FUZZY

Pada tahun 1975, Profesor Ebrahim Mamdani dari *London University* membangun sebuah sistem *fuzzy* pertama kali untuk mengendalikan kombinasi mesin uap dan ketel uap. Profesor Ebrahim Mamdani mengaplikasikan aturan himpunan *fuzzy* berdasarkan operator pengalaman manusia. Sejak saat itu teknik inferensi *fuzzy* dikenal sebagai metode Mamdani.

Secara garis besar proses inferensi *fuzzy* Mamdani setelah menentukan variabel linguistik dinyatakan dalam empat langkah, yaitu:

- Fuzzifikasi variabel masukan
- Evaluasi aturan
- Agregasi aturan keluaran
- Defuzzifikasi

2.6.1 Variable linguistik

Definisi (Variabel linguistik) Variabel linguistik didefinisikan oleh lima bagian berikut (Lee, 2005).

Variabel linguistik = $(x, T(x), U, G, M)$, dimana:

x = nama variabel

$T(x)$ = himpunan istilah linguistik yang dapat menjadi nilai variabel

U = himpunan semesta yang mendefinisikan karakteristik variabel

G = tata bahasa sesuai tata kalimat yang menghasilkan suku-suku dalam $T(x)$

M = aturan semantik yang memetakan suku-suku $T(x)$ ke himpunan *fuzzy* U

Dalam istilah linguistik *fuzzy* biasanya terdiri dari dua bagian, yaitu (Lee, 2005):

1. Predikat *fuzzy* (suku utama), misalnya mahal, tua, langka, berbahaya, bagus, dll
2. Modifier *fuzzy*, misalnya sangat, seperti, hampir tidak mungkin, sangat tidak mirip, dll

Modifier *fuzzy* digunakan untuk mengganti arti dari predikat *fuzzy* dan dapat dikelompokkan menjadi dua kelas, yaitu (Lee, 2005):

1. Qualifier kebenaran *fuzzy*, misalnya cukup benar, sangat benar, kurang lebih benar, sebagian besar salah, dll
2. Qualifier *fuzzy*, misalnya banyak, beberapa, hampir, semua, biasanya, dll

2.6.2 Aturan *fuzzy* IF-THEN

Secara umum aturan *fuzzy* menggunakan bentuk

R: Jika x adalah A, maka y adalah B

Dimana A dan B adalah nilai linguistik yang didefinisikan oleh himpunan semesta *fuzzy* X dan Y . Aturan ini juga disebut sebagai “implikasi *fuzzy*” atau pernyataan bersyarat *fuzzy*. Bagian “ x adalah A” disebut sebagai “antiseden” atau “premis”, sedangkan “ y adalah B” disebut sebagai “konsekuensi” atau “kesimpulan”. Umumnya, antiseden dan konsekuensi direpresentasikan dalam bentuk variabel linguistik (Lee, 2005).

Suatu ekspresi aturan *fuzzy* ‘R: Jika x adalah A, maka y adalah B’ menggambarkan suatu relasi antara dua variabel x dan y . Hal ini menyatakan bahwa aturan *fuzzy* dapat didefinisikan sebagai relasi binary R dalam hasil kali semesta $X \times Y$ (Lee, 2005).

2.6.3 Implikasi *fuzzy*

Sesuai dengan interpretasi hasil kali Cartesian dan operator t-norms dan t-conorms, sejumlah metode dapat dirumuskan untuk menghitung relasi *fuzzy*

$$R = A \rightarrow B$$

R dapat dipandang sebagai sebuah himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan dua-dimensi

$$\mu_R(x,y) = f(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

dimana fungsi f , disebut fungsi implikasi *fuzzy*, yang mengubah derajat keanggotaan x di A dan y di B menjadi (x, y) di $A \times B$ (Lee, 2005).

2.7 TEORI INFORMASI

Teori informasi melibatkan pengukuran kualitas informasi dari variabel acak. Teori informasi dikembangkan oleh Claude E. Shannon pada tahun 1940an untuk mencari batasan mendasar dalam kompresi dan penyimpanan data komunikasi. Penelitiannya pada saat itu terfokus pada proses karakterisasi informasi sistem komunikasi dengan mencari cara dalam pengukuran data berdasarkan ketidakpastian dan keacakan yang ada pada sistem tersebut. Shannon membuktikan bahwa untuk probabilitas p_i ,

$$-\sum_i p_i \log p_i$$

adalah satu-satunya bentuk fungsi yang memenuhi semua kondisi dalam pengukuran ketidakpastian. Shannon kemudian menamakannya entropi karena memiliki bentuk matematika yang serupa dengan entropi dalam mekanika statistik (Wilkie, 2005).

Entropi merupakan salah satu pendukung utama dalam teori informasi. Dari entropi didapatkan dua pendukung utama lainnya, yaitu relatif entropi dan *mutual information* (MI). Entropi adalah suatu pengukuran dari ketidakpastian atau keacakan dari variabel acak. Relatif entropi adalah suatu pengukuran jarak antar dua distribusi probabilitas. Sedangkan *mutual information* (MI) adalah jumlah informasi yang terkandung dalam satu variabel acak mengenai variabel acak lainnya. Pada subbab berikut akan dijelaskan lebih lanjut mengenai entropi, relatif entropi dan *mutual information* (MI) (Wilkie, 2005).

2.7.1 Probabilitas dan Variabel Acak

Probabilitas menggambarkan *event* secara acak, seperti lemparan dadu, lemparan koin, atau angka yang akan keluar pada suatu undian. Semua *event-event* ini tidak diketahui

sebelum terjadi. Dalam menggambarkan *event-event* tersebut diperlukan hal-hal berikut ini (Egnal & Daniilidis, 2000):

- Ruang sampel: himpunan semesta S yang terdiri dari seluruh kemungkinan *outcome*
- *Outcome*: anggota himpunan ruang sampel S
- *Event*: sejumlah pengamatan yang menghasilkan *outcome-outcome* tertentu. Misalnya, pelemparan dadu yang menghasilkan *outcome* bilangan genap. *Event* adalah himpunan *outcome* sehingga merupakan subset dari ruang sampel S dimana probabilitas terdefinisi.

Dalam suatu ruang sampel S dapat terdefinisi sekian banyak *event*. Semua kemungkinan *event* yang dapat terdefinisi dalam ruang sampel S dituliskan dengan notasi \mathfrak{S} .

Definisi (Probabilitas) Andaikan (S, \mathfrak{S}) adalah ruang sampel dan himpunan semua kemungkinan *event*. Fungsi probabilitas dari (S, \mathfrak{S}) adalah fungsi $P : \mathfrak{S} \rightarrow \mathfrak{R}$ dimana untuk setiap *event* A dan *event* B memenuhi (Egnal & Daniilidis, 2000):

1. $P(A) \geq 0 \forall A \in \mathfrak{S}$
2. $P(S) = 1$
3. $P(\emptyset) = 0$
4. $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ jika $P(A \cap B) = \emptyset$
5. Jika $P(A \cap B) \neq \emptyset$, maka $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

Definisi (Fungsi Massa Probabilitas) Fungsi Massa Probabilitas atau *Probability Mass Function* (pmf) $p_X(x)$ didefinisikan sebagai fungsi probabilitas dari variabel acak X dimana $p_X(x) = P(X = x)$ untuk semua x (Mairiza, 2005).

Definisi (Fungsi Kerapatan Probabilitas) Fungsi Kerapatan Probabilitas atau *Probability Density Function* (pdf) $f_X(x)$ didefinisikan sebagai fungsi probabilitas dari variabel acak kontinu X sehingga (Egnal & Daniilidis, 2000):

$$\int_a^b f_X(x) = P(a \leq X \leq b)$$

Fungsi kerapatan probabilitas harus memenuhi sifat-sifat berikut:

$$0 \leq \int_a^b f_X(x) \leq 1, \text{ untuk } -\infty \leq a \leq b \leq \infty$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) = 1$$

2.7.2 Entropi dan Informasi

Definisi (Entropi) Entropi $H(X)$ dari variabel acak diskrit X adalah

$$H(X) = - \sum_{x \in X} p(x) \log p(x)$$

Entropi dari sebuah variabel acak adalah suatu pengukuran ketidakpastian atau keacakan dari variabel acak. Entropi mengukur jumlah informasi rata-rata yang diperlukan untuk menggambarkan variabel acak (Mackay, 2005) (Egnal & Daniilidis, 2000) (Wilkie, 2005).

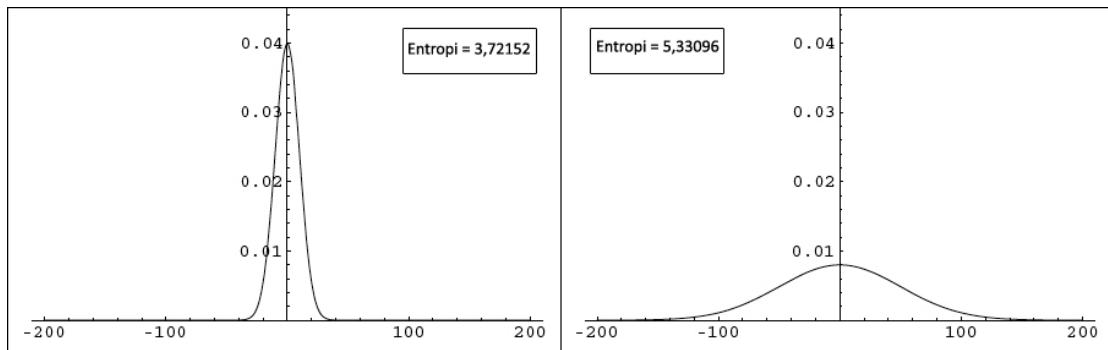
Andaikan X adalah variabel acak biner,

$$X = \begin{cases} 1 & \text{dengan probabilitas } p \\ 0 & \text{dengan probabilitas } 1 - p \end{cases}$$

Sehingga entropi dari X adalah

$$H(X) = -p \log p - (1 - p) \log(1 - p)$$

Karena fungsi diatas bergantung pada p , maka terkadang fungsi diatas ditulis sebagai $H(p)$. Sehingga entropi dari variabel acak biner dengan probabilitas p dapat ditulis baik dengan $H(X)$ maupun dengan $H(p)$ (Mackay, 2005).



Gambar 19 Hubungan antara variasi dengan entropi. Semakin tinggi variasi, semakin tinggi nilai entropi

Definisi (Ekspektasi) Jika $X \sim p(x)$ (baca: X yang terdistribusi sesuai dengan $p(x)$), maka untuk fungsi $g(X)$ dari variabel acak X , Ekspektasi yang dituliskan dengan notasi E (Mackay, 2005):

$$Eg(X) = \sum_{x \in X} g(x)p(x)$$

2.7.3 Relatif Entropi

Andaikan terdapat variabel acak dengan distribusi p . Kemudian variabel acak dapat direpresentasikan dengan kode yang mempunyai panjang rata-rata $H(p)$. Tetapi, karena informasi yang tidak lengkap, sehingga diasumsikan distribusi dari variabel acak adalah q . Sehingga diperlukan jumlah bit yang lebih banyak untuk merepresentasikan variabel acak tersebut. Perbedaan jumlah bit dituliskan dalam notasi $D(p||q)$. Perbedaan jumlah bit inilah yang disebut sebagai relatif entropi (Mackay, 2005).

Definisi (Relatif Entropi) Relatif entropi atau jarak Kullback-Leiber antara dua *probability mass function* (pmf) $p(x)$ dan $q(x)$ didefinisikan sebagai (Mackay, 2005) (Wilkie, 2005):

$$D(p||q) = \sum_{x \in X} p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} = E_p \log \frac{p(X)}{q(X)}$$

2.7.4 Entropi Bersama dan *Mutual Information*

Ketika menemui dua variabel acak, X dan Y , terkadang menarik untuk diketahui derajat ketergantungan antar keduanya. $p(X,Y)$ disebut sebagai distribusi bersama, menunjukkan kemunculan dua variabel acak secara bersamaan (Gilles, 1996).

Definisi (Entropi Bersama) Jika X dan Y terdistribusi secara bersamaan sesuai dengan $p(X,Y)$, maka entropi bersama $H(X,Y)$ adalah

$$H(X,Y) = - \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} p(x,y) \log p(x,y)$$

atau

$$H(X,Y) = -E \log p(X,Y)$$

Entropi bersama adalah suatu pengukuran dari keacakan Y dengan informasi X . Perlu diketahui bahwa jika X dan Y saling independen, maka $H(X,Y) = H(X) + H(Y)$ (Mackay, 2005) (Gilles, 1996).

Konsep penting lainnya adalah tentang *Mutual Information*. Seberapa banyak informasi yang dapat diberitahukan oleh satu variabel acak tentang variabel acak lainnya.

Definisi (*Mutual Information*) Andaikan X dan Y adalah variabel acak dengan distribusi bersama $p(X,Y)$ dan distribusi marginal $p(x)$ dan $p(y)$. *Mutual Information* $I(X,Y)$ adalah relatif entropi antara distribusi bersama dan hasil kali distribusi marginal (Mackay, 2005).

$$\begin{aligned} I(X;Y) &= D(p(x,y) \| p(x)p(y)) \\ &= \sum_x \sum_y p(x,y) \log \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \end{aligned}$$

Perlu diketahui bahwa jika X dan Y saling lepas maka $p(x,y) = p(x)p(y)$, sehingga $I(X;Y) = 0$. Hal ini cukup masuk akal, karena jika X dan Y adalah variabel acak yang saling lepas maka Y tidak dapat memberitahukan apapun tentang X .

Informasi yang X beritahukan tentang Y adalah ketidakpastian di X ditambah ketidakpastian di Y dikurangi ketidakpastian di X dan Y . Sehingga *mutual information* dapat dituliskan sebagai

$$I(X;Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y)$$

dimana $H(X)$ dan $H(Y)$ adalah entropi dari X dan Y , $H(X,Y)$ adalah entropi bersama X dan Y (Mackay, 2005) (Gilles, 1996) (Wilkie, 2005).

Tabel 3 Sifat-sifat *Mutual Information* (Maes, Collignon, Vandermeulen, Marchal, & Suetens, 1997)

Non-negatif	$I(X;Y) \geq 0$
Simetri	$I(X;Y) = I(Y;X)$
Independen	$I(X;Y) = 0 \Leftrightarrow p(x,y) = p(x)p(y)$
<i>Self-Information</i>	$I(X;X) = H(X)$