

METODOLOGI PENELITIAN



Oleh:

Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, MT.

Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku sebagai bahan ajar perkuliahan pada mata kuliah Metodologi Penelitian.

Dengan adanya bahan ajar atau diktat pada mata kuliah ini, mahasiswa diharapkan dapat membuat sebuah laporan atau karya ilmiah dengan baik.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada penyusunan bahan ajar ini, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan, semoga bahan ajar ini dapat bermanfaat bagi semuanya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Jakarta,

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I PENGANTAR UMUM METODOLOGI PENELITIAN & STATISTIK

1. Pendahuluan I-1
2. Latar Belakang I-1
3. Metodologi Penelitian dalam Proses Inovasi I-2
4. Tujuan I-18
5. Silabus Kuliah I-19
6. Pustaka I-19

BAB II BEBERAPA DEFINISI & ISTILAH DASAR

1. Beberapa Definisi dan Istilah II-1
2. Metodologi Penelitian II-1
3. Norma Kebenaran Ilmiah II-2
4. Kualifikasi Penelitian Fenomena Alam II-5
5. Teori Statistik dan Probabilitas II-6

BAB III METODA ILMIAH DALAM METODOLOGI PENELITIAN

1. Metoda Ilmiah III-1
2. Langkah-Langkah Penelitian III-1
3. Cara Melakukan Penelitian III-6
4. Wahana Penyampaian Karya Tulis III-6
5. Klasifikasi Karya Tulis III-9
6. Sistematika Umum Penulisan III-12
7. Format Penulisan Karya Tulis yang Dikutip Sebagai Referensi III-13

BAB IV PENELITIAN KUANTITATIF DAN KUALITATIF

1. Umum IV-1
2. Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif IV-1
3. Penelitian Kuantitatif IV-2
4. Penelitian Kualitatif IV-3
5. Pemilihan Metoda IV-4

BAB V PENYUSUNAN PROPOSAL & LAPORAN PENELITIAN

1. Pemilihan Topik Penelitian V-1
2. Dasar Pelaksanaan Penelitian: Postulat dan Hipotesis V-2
3. Hipotesis V-3
4. Proposal Penelitian V-9
5. Laporan Penelitian V-10

BAB VI TEORI STATISTIK

1. Pengertian Fenomena Random VI-1
2. Analisis Diskrit Fenomena Random VI-3
3. Analisis Kontinu Fenomena Random VI-7
4. Fenomena Random 2 Variabel VI-17

5. Operasi Aljabar Variabel Random	VI-20
------------------------------------	-------

BAB VII TEORI PROBABILITAS

1. Pengertian Teori Probabilitas	VII-1
2. Beberapa Definisi	VII-4
3. Aturan Operasional	VII-6
4. Matematika Teori Probabilitas	VII-9
5. Frekuensi Distribusi Kumulatif	VII-14

BAB VIII PENENTUAN DATA PARAMETER VARIABEL RANDOM DARI DATA PENGAMATAN DAN AKURANSINYA

1. Umum	VIII-1
2. Penentuan Parameter dari Data Pengamatan	VIII-1
3. Estimasi Keakuratan Parameter	VIII-3
4. Uji Keakuratan Fungsi Distribusi Frekuensi (PDF)	VIII-16

BAB I PENGANTAR UMUM METODOLOGI PENELITIAN & STATISTIK

1. Pendahuluan

Metodologi Penelitian adalah mata kuliah umum yang diberikan pada mahasiswa di semester awal program perkuliahan magister teknik rekayasa pembiayaan perumahan. Tujuan utamanya adalah menunjang kemampuan mahasiswa dalam menghasilkan karya-karya akademik selama proses pendidikan. Karya akademik wajib mahasiswa adalah : tugas kuliah, laporan praktikum, laporan kerja praktek dan tesis. Para mahasiswa juga diharapkan mampu membuat karya akademik ekstrakurikuler seperti pembuatan makalah seminar, artikel majalah, dan lain-lain.

Pada pengantar umum ini disajikan pendahuluan, latar belakang, sekilas peran metodologi penelitian dalam pengembangan inovasi, tujuan dan silabus mata kuliah, serta beberapa pustaka yang dapat digunakan sebagai acuan.

2. Latar Belakang

Abad 21 adalah abad keemasan bagi ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek). Bangsa-bangsa yang maju adalah yang menguasai iptek. Perkembangan iptek yang sangat pesat saat ini salah satunya disebabkan penggunaan metodologi penelitian secara luas oleh bangsa-bangsa tersebut.

Prof. Jeffrey Sachs dari Universitas Harvard, dalam artikel berjudul "The New Map of the World" mengemukakan "Dunia tidak lagi terbagi-bagi oleh ideologi, tetapi oleh iptek" :

1. Bangsa yang menghasilkan inovasi iptek : mencakup 15% dari penduduk dunia, namun menghasilkan seluruh inovasi iptek. Contoh : Bangsa barat dan Jepang.
2. Bangsa yang mengadopsi iptek : mencakup 50% dari penduduk dunia, yang mampu menguasai inovasi iptek, terutama disektor produksi dan konsumsi. Contoh : Bangsa Cina dan Korea
3. Bangsa yang tidak menguasai iptek : mencakup 33% penduduk dunia. Contoh : bangsa yang sedang berkembang.

Bangsa yang tidak menguasai iptek terjebak dalam kemiskinan struktural. Bangsa yang menghasilkan atau mengadopsi iptek semakin kaya dan semakin

kaya. Kelompok maju ini menguasai 41.3% GDP dunia dan memiliki 87.2% dari seluruh paten yang terdaftar pada tahun 1995.

Bangsa Indonesia saat ini mengalami keterpurukan yang sangat dalam di berbagai bidang. Aspek yang diyakini sebagai permasalahan dasar adalah fundamental ekonomi yang lemah. Jika dilihat dari kenyataan bahwa Indonesia mempunyai sumber daya alam (SDA) yang berlimpah, harus diakui bahwa sumber daya manusia (SDM) Indonesia adalah yang lemah. Ada banyak faktor yang menyebabkan keterbelakangan ini. Faktor budaya dan lemahnya sumber daya manusia (SDM), secara objektif merupakan faktor signifikan. Mahasiswa pasca sarjana adalah generasi yang harus menjadi SDM inti. Jadi pembinaan yang ekstra keras harus dilakukan pada masa studi, agar dihasilkan “dream team human resources” bagi Indonesia.

Proses pembinaan yang baik harus diusahakan secara keras oleh setiap unsur dalam *civitas academica*. Para mahasiswa, sebagai salah satu subjek penting, harus menyadari hal ini. Salah satu proses nyata yang harus dihadapi mahasiswa adalah pembuatan karya akademik. Adalah sangat memprihatinkan jika mahasiswa tidak mampu membuat karya akademik yang baik. Kemampuan ini merupakan sarana untuk membina kemampuan kreatif, cara berfikir sistematis dan integritas, yang merupakan modal dasar SDM yang handal.

Pengamatan terhadap kualitas karya akademik mahasiswa secara obyektif masih memprihatinkan. Hal ini mendorong diberikannya kuliah metodologi penelitian di awal perkuliahan, agar mahasiswa dapat secara dini mampu mengembangkan kemampuannya dalam membuat karya-karya akademik yang baik.

3. Metodologi Penelitian dalam Proses Inovasi

3.1 Umum

Inovasi adalah ukuran kreatifitas suatu bangsa sekaligus SDMnya khususnya di bidang teknologi. Tingkat kreatifitas suatu bangsa pada saat ini jelas berbanding langsung dengan kemakmuran suatu negara. Pada masa kini, sedang berlaku suatu era yang disebut era teknologi. Suatu bangsa akan makmur kalau teknologinya maju. Jumlah inovasi yang dihasilkan Indonesia ternyata sangat rendah, dibandingkan negara-negara lain. Hal ini menunjukkan suatu benang merah yang jelas, bahwa bangsa Indonesia sangat tidak kreatif, sehingga fundamental ekonominya sangat lemah, dan Indonesia belum makmur.

Pada bagian ini disajikan data-data kuantitatif aktual yang membuka wawasan kita semua, serta opini mengenai penyebabnya terutama terkait dengan masalah budaya, pemegang paten dan industri. Usaha-usaha yang harus dilakukan oleh berbagai pihak agar tingkat kreatifitas bangsa

meningkat, serta beberapa contoh inovasi sukses yang telah dilakukan oleh beberapa putra bangsa, terutama di bidang perumahan.

3.2. Budaya sebagai akar permasalahan ?

Apakah budaya merupakan sumber permasalahan bangsa Indonesia ?. Budaya adalah upaya "The Civilization and customs of a certain race or nation". Beberapa definisi formal budaya antara lain :

1. Pola Pikir, Pola Tindak arah pikir hal-hal yang selalu ada dalam pikiran/dikerjakan,cara kerja, (Ensiklopedia Indonesia,1980)
2. Budaya diartikan sebagai orang berilmu dan mencintai seni
3. Culture is the beliefs, custom, practices, and social behavior of a particular nation or people ,

Keseluruhan definisi menggambarkan budaya sebagai hal yang menyangkut seluruh aspek kehidupan suatu kelompok/bangsa, tidak hanya menyangkut hanya tari-menari dan menyanyi saja.

Menjadi kreatif di tengah situasi bangsa Indonesia memang merupakan tantangan besar, yang ditengarai merupakan masalah budaya. Beberapa pepatah "slang" dari daerah Indonesia sebenarnya menunjukkan bagaimana bentuk budaya yang umumnya **STATIS NON KREATIF**.

1. Dari daerah Batak
 - a. **"Eme na Masak digagat Ursa, Ina Masa Ima niula"**
Apa yang sedang musim orang kerjakan, itulah kita kerjakan juga.
 - b. **"Suhar do bulu ditarik dongan suhar farihon"**
Kalau kawan-kawan menarik pohon bambu dari arah yang berlawanan terhadap arah ranting/dahannya, kita ikut menarik bersama seperti itu juga.
 - c. **"Tukot siala gundi, I di bohen na parjolo ba ima di ikuthon na di pudi"**
Apa yang dilakukan, cara & melakukan oleh orang-orang dulu,seperti itulah diikuti , orang yang mengikat di belakang.
2. Dari daerah Jawa
"Mangan ora mangan pokoke kumpul" "Nrimo"
Pola Hidup yang selalu menerima apa adanya
3. Dari daerah Sunda
"Kumaha engke wae"
Sikap pesimis dan pasrah pada nasib tanpa berusaha
4. Dari daerah Toraja
Toraja memiliki suatu adat yang sangat kuat berupa aturan hidup bersama. Setiap desa/daerah mematuhi suatu adat yang disebut **"Aluk pitung sa'bu pitu ratu' pitung pulo pitu"**. Hal ini merupakan aturan agama/adat 7777, yang sampai sekarang masih tetap dijaga oleh

penguasa adat dengan didampingi oleh Kombongan Adat atau Dewan Musyawarah Adat. Meskipun indah dan mencerminkan harmoni, cenderung untuk statis karena kurangnya ruang untuk penghayatan pribadi (Rendra : Berkelana di Toraja, Menatap Jawa : Memberi makna pada hidup yang fana, **Pabelan Jayakarta**, Jakarta 1999)

Budaya penemuan adalah budaya seseorang, group atau bangsa yang selalu berfikir atau selalu berada dalam suatu proses pencarian pemecahan suatu masalah teknologi, ke arah dan menemukan suatu sistem yang lebih baik dari apa yang ditemukan sebelumnya. Singkatnya "kreatifitas". Apakah Kreatifitas itu ? Kreatifitas adalah suatu kemampuan untuk menantang suatu asumsi - asumsi, mengenal pola - pola, melihat dengan cara yang baru, membuat berbagai hubungan, mengambil resiko dan menangkap segera suatu peluang.

Beberapa term dalam bahasa Inggris yang dikemukakan Alan Ashley Pitt menggambarkan hal tersebut beserta resikonya :

1. The man who follows the crowd, will usually get no farther than the crowd. The man who walks alone is likely to find himself in places no one has ever been before.
2. Creativity in living is not without attendant difficulties, for peculiarity breeds contempt. And the unfortunate thing about being ahead of your time is that when people finally realize you were right, they will say it was obvious all a long.
3. You have two choices in live : you can dissolve into the mainstream, or you can be distinct. To be distinct, you must be different. To be different, you must strive to what no one else but you can be....

3.3. Inovasi Bangsa, Paten dan Tingkat Kesejahteraan Negara

Inovasi lahir dari optimalisasi penggunaan otak manusia (inspiration) serta keteguhan dalam usaha mewujudkan (prespiration). Thomas Alfa Edison, yang terkenal sebagai Bapak "1000 paten" mengatakan $Invention = 1\% \text{ Ide} + 99\% \text{ prespiration}$ atau "Inovasi adalah hasil dari 1% ide (inspiration), dan 99% usaha keras (prespiration)". Kata-kata ini ini juga yang dihayati oleh salah satu orang yang terkaya saat ini (akibat usaha dan motivasinya), yaitu Bill Gates, pendiri dan pemilik perusahaan piranti lunak terbesar di dunia.

Paten dapat dilihat sebagai Indikator Ekonomi dan Teknologi. Paten dapat disamakan sebagai kertas litmus. Bila kita melihat karakteristik patent yang guaranteed oleh negara itu, dengan mudah kita bisa mengetahui perekonomian serta derajat teknologi negara tersebut.

Paten paling banyak dihasilkan oleh penemu yang disokong Industri melalui divisi penelitian dan pengembangan (R & D). Orang-orang di R & D

harus memiliki *Industrial Conciousness (IC)* yang tinggi dimana mengejar dan memiliki patent haruslah dilihat sebagai sasaran antara. Di negara industri maju (Eropa ,USA) dipandang jauh lebih penting **mengkomersialisasikan** invensi dan masyarakat memperoleh benefit dari produk tsb. Di **negara berkembang, cenderung masih mengejar target jumlah patent.**

Ada beberapa parameter kuantitatif untuk mengukur kreatifitas bangsa yang dikaitkan dengan parameter kemakmuran standar, yaitu jumlah paten yang dihasilkan per jumlah penduduk, jumlah peneliti, jumlah pendapatan domestik bruto, jumlah pendapatan per kapita, anggaran penelitian dan pengembangan,dan nilai mata uang [2].

Tabel 1 menunjukkan korelasi antara rasio jumlah penduduk terhadap jumlah aplikasi paten per tahun dengan pendapatan per kapita beberapa negara pada tahun 1992 - 1994. Jepang terlihat sebagai bangsa yang paling kreatif, sedangkan Indonesia dibandingkan dengan Malaysia pun masih ketinggalan.

Tabel 1

Aplikasi paten domestik (92 - 94) / tahun

No.	Negara	Aplikasi per tahun	Total penduduk	Total penduduk	Income per capita 1997 US\$
				Aplikasi	
1	Japan	320,175	119,970,000	375	33,265
2	U S A	109,981	260,000,000	2,364	28,989
3	Germany	49,402	78,000,000	1,579	25,468
4	France	16,130	55,750,000	3,456	23,843
5	Netherland	4,357	14,890,000	3,417	23,270
6	United Kingdom	24,747	55,750,000	2,253	22,000
7	Australia	9,402	18,170,000	1,933	21,900
8	Kanada	3,043	29,160,000	9,583	20,082
9	Chili	190	15,000,000	78,947	5,271
10	Brazilia	2,296	150,000,000	65,331	4,930
11	Malaysia	223	19,600,000	87,892	4,665
12	Mexico	553	87,000,000	157,324	4,265
13	Turkey	233	58,000,000	248,927	3,026
14	Thailand	634	55,470,000	87,492	2,576
15	Egypt	328	55,000,000	167,683	1,168
16	Srilangka	81	18,900,000	233,333	826
17	China	12,786	1,155,000,000	90,333	745
18	India	1,588	903,000,000	568,640	402
19	Indonesia	75	190,000,000	2,533,333	400

Ada Korelasi antara jumlah capita per patent dan income per capita

Income / kapita Vs Penduduk / Paten / Tahun

Thn 1998	Income / kapita	Penduduk / paten
Jepang	US\$ 33,265	927
Malaysia	US\$ 4,665	442
Indonesia	US\$ 400	11.875.000

Jumlah Peneliti Tahun 1995

Negara	Jumlah Peneliti
JEPANG	53,5 Orang / 10,000 penduduk
	100 Orang / 10,000 buruh pekerja
INDONESIA	1,1 Orang / 10,000 penduduk

Biaya Penelitian Tahun 1995

Negara	Biaya Penelitian per kapita
JEPANG	US\$ 103
INDONESIA	US\$ 1,3

Kegiatan penelitian dapat dilihat intensitasnya dari jumlah peneliti dan besarnya anggaran penelitian (Lihat Tabel Income / Kapita Vs Penduduk /

Paten / Tahun, Jumlah peneliti dan Biaya Penelitian). **Tabel 2** menunjukkan rasio anggaran penelitian pengembangan terhadap produk domestik bruto. Indonesia kembali terlihat jauh tertinggal dan dari tahun ketahun tetap stagnan sekitar 0.2%. Di negara maju, anggaran ini melebihi 2% PDB. Korea Selatan adalah negara berkembang yang menyadari hal ini, sehingga dengan strategi yang jitu dan usaha yang keras, sehingga pertumbuhan yang pesat dan sekarang telah memasuki gerbang negara maju.

R & D itu besar biayanya. Mahal ! Tabel 3 menunjukkan anggaran R & D beberapa perusahaan multinasional yang jumlahnya sangat signifikan dari omset penjualannya. Perusahaan-perusahaan di negara-negara Industri maju, merupakan Company based on research product. R & D bagi mereka sudah merupakan darah yang mengalir dalam tubuh perusahaan, diperlukan untuk pertumbuhan dan memperbaharui produknya. R & D dan paten menjamin pertumbuhan ekonomi dari suatu negara Industri dan Dominasi dari suatu perusahaan atau negara terhadap negara lain.

Gambar 1 menunjukkan perbandingan kurs mata uang [7] beberapa negara mulai tahun 1974 - 1999. Kurs mata uang, sebagaimana diketahui menggambarkan kekuatan fundamental ekonomi suatu negara. Jepang sebagai negara yang paling kreatif, terlihat makin superior, bahkan diantara negara - negara maju seperti Amerika, Inggris dan Jerman, apalagi terhadap Indonesia. Nilai tukar rupiah terhadap yen pada tahun 1999 tinggal 1.8% dari pada tahun 1974.

Fakta - fakta ini sangat mendukung hipotesis "makin kreatif suatu bangsa, makin makmurlah bangsa tersebut". Jepang, yang pada tahun 1986 mempunyai pendapatan perkapita US\$ 17.300 memiliki 2.336 kapita/paten (setiap 2.336 penduduk menghasilkan 1 paten). Pada tahun 1998, pendapatan per kapita Jepang mencapai US\$ 33.265 dengan 972 kapita per paten. Bandingkan dengan Indonesia yang pada tahun 1998, pendapatan per kapitanya US\$ 400, hanya 1 paten lahir dari 11.875.000 penduduknya. jadi bangsa Indonesia 1/12.000 kali tidak kreatif dari bangsa Jepang, bahkan dengan Malaysia US\$ 4.665 dengan 411.730 kapita/paten, ± 25 kali lebih kreatif.

Tabel 2

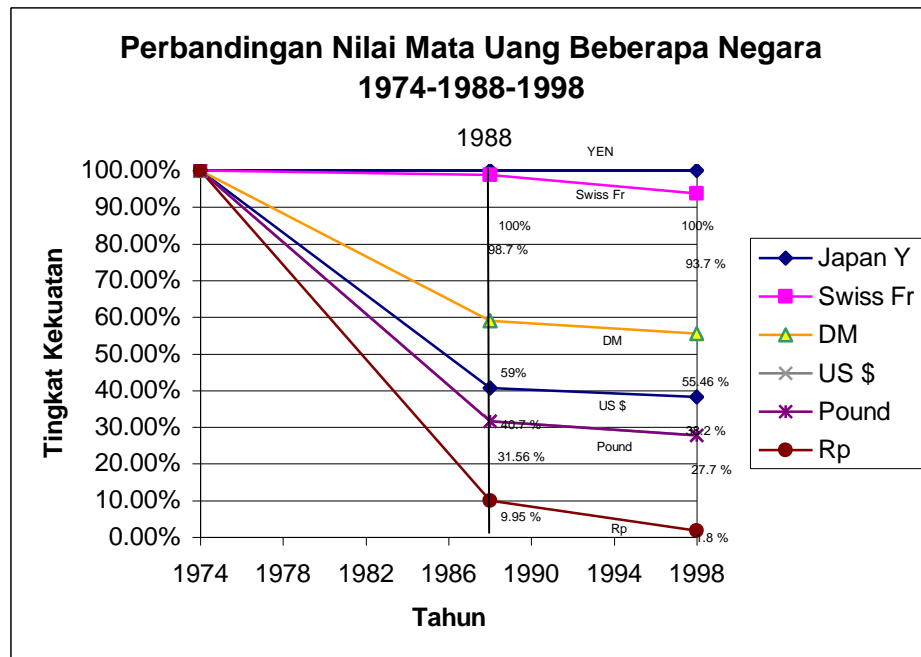
Anggaran R & D dalam Prosentasi PDB

NEGARA	TAHUN		
	1985	1988	1991
Amerika	2,8	2,7	2,7
Jepang	2,6	2,7	2,9
Korea Selatan	1,1	1,7	1,9
China	1,0	1,1	1,5
Singapura	0,7	0,9	1,0
Thailand	1,0	1,3	1,7
Indonesia	0,2	0,2	0,2

Tabel 3

R. & D Spending and Patenting by Major Global Firm

1998	R & D exp. US, billion	R & D % Sales	Patents Granted	R&D spending per patent Million US/paten
Electronics :				
Siemens	5.440	7.70	520	5.91
Hitachi	4.529	6.10	1.367	3.31
Sony	2.665	4.71	1.472	1.81
Nokia	1.350	8.60	243	5.55
Samsung El.	0.021	0.11	1.280	0.02
Hyundai El.	0.016	0.33	223	0.07
Pharmaceuticals :				
Merck	2.840	10.60	344	8.31
Pfizer	2.279	16.83	120	18.99
Chemicals :				
Du Pont	2.751	11.00	395	6.96
Bayer	2.120	7.14	578	3.76
Aji no moto	0.058	0.82	53	1.09
Automobiles :				
G. Motor	7.990	5.00	304	26.00
Ford Motor	6.300	4.40	154	40.91
Toyota	3.939	3.80	454	8.68
Honda	2.534	4.80	448	5.66
KIA Motor	0.006	0.11	42	0.14
Food :				
Unilever	0.921	2.10	21	43.86
Nestle	0.587	1.10	1	587.00
Aerospace :				
Boeing	1.895	3.37	185	10.24



Gambar 1 Nilai Mata Uang Beberapa Negara

3.4. Sekilas Proses Inovasi

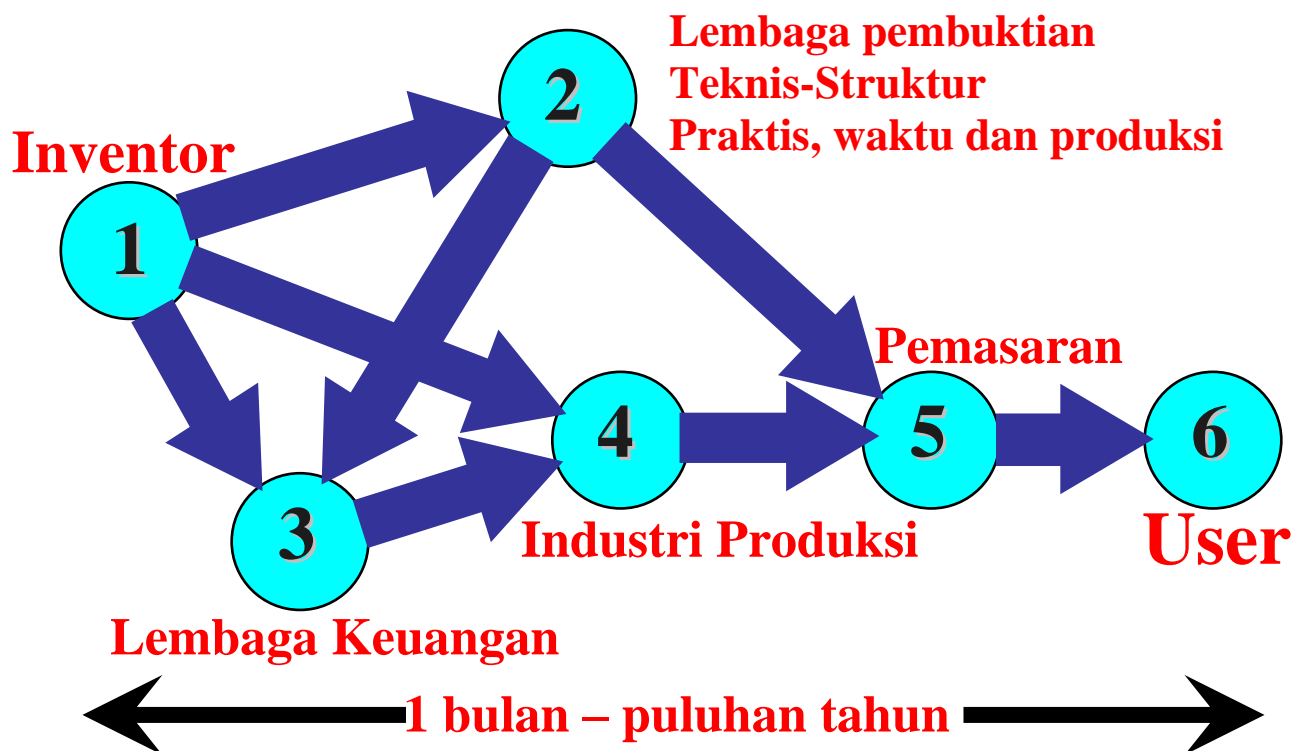
Proses inovasi secara garis besar dapat dilihat pada **Gambar 2**. Proses ini dimulai dari ketajaman melihat suatu peluang dalam permasalahan tertentu. Thomas Alfa Edison, melihat kegelapan malam sebagai peluang, sehingga dia mendapatkan ide untuk mengembangkan lampu listrik. Bill Gates melihat kecenderungan manusia yang lebih suka melihat simbol dari pada tulisan sebagai peluang. Ia lalu mengembangkan Microsoft Windows sebagai mode grafis, yang sekarang mendominasi pasar piranti lunak dunia. Para insinyur sipil melihat hambatan geografis sebagai peluang, maka lahirlah teknologi jalan, jembatan, gedung, bendungan irigasi dan lain - lain.

Proses selanjutnya terkait dengan mengatasi permasalahan tersebut. Pengalaman masa lalu, literatur dan lain - lain dapat menjadi bahan masukan untuk mengembangkan suatu inovasi. Jika inovasi telah dirumuskan, maka dapat dilakukan pengujian, baik melalui simulasi maupun prototipe. Pengujian bertujuan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomi inovasi. Pengujian ini bersifat keyakinan internal, yaitu sang inovator harus yakin akan dirinya sendiri, sebelum dia meyakinkan orang lain.

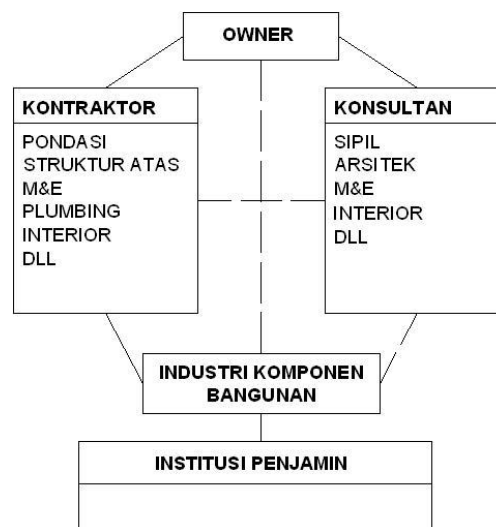
Tahap berikutnya adalah pemasaran, yaitu meyakinkan orang lain agar mau memakai hasil inovasi. Di dunia konstruksi, hubungan antar pihak - pihak yang terkait dapat dilihat pada **Gambar 3**. Para inovator harus mampu meyakinkan seluruh pihak bahwa inovasinya memang layak digunakan dan memberi hal yang lebih baik dan ekonomis dibandingkan dengan solusi yang ada sebelumnya. Jika inovasi mendapat tanggapan positif, serta ada masukan untuk meninggalkan kehandalan inovasi, maka hasil keuntungan ditanamkan kembali untuk pengembangan inovasi selanjutnya.

Perjalanan perjuangan ide-ide sampai menjadi kenyataan dan mendapat sukses komersial adalah sangat panjang dan memerlukan waktu, tenaga dan biaya yang tidak sedikit. **Tabel 4** menunjukkan seleksi alam dari mulai tahap pengajuan ide sampai medapat sukses komersial, terlihat rata-rata hanya satu ide yang dapat sukses dari 3000 ide yang diajukan.

Di negara - negara maju proses ini telah berjalan dalam lingkungan kondusif, sehingga menghasilkan lingkaran percepatan pertumbuhan inovasi, seperti terlihat pada **Gambar 4**, yang pada akhirnya meningkatkan kemakmuran negara tersebut.



Gambar 2 Skema Proses Inovasi



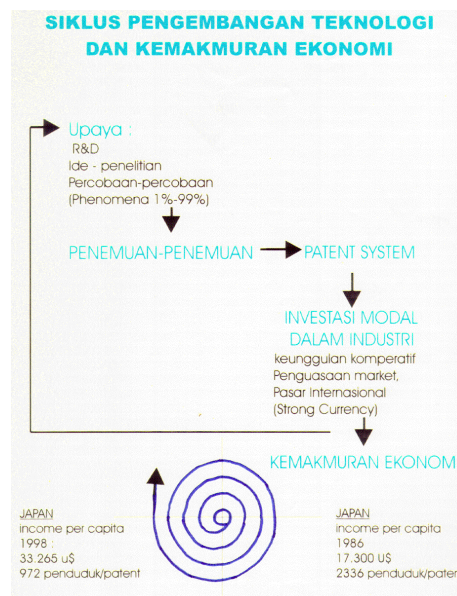
Gambar 3 Skema Pelaku Industri Kontruksi

Tabel 4

SURVIVAL RATES FROM PATENT ACTIVITY

Patent Process	Stage of Patent Process	Best Estimate	% Surviving Prior Stage
Raw Ideas	1	3000	100
Patent Disclosures	2	300	10
Patent Applications	3	150	50
Issued US Patent	4	112	75
Patents with some value	5	9	8
Crown Jewel Patents	6	< 1	< 10

Greg A Stevens and James Burley Indonesia Research Inst. Inc.



Gambar 4 Lingkaran Proses Inovasi, Industri dan Kemakmuran Negara

3.5. Contoh - contoh Inovasi dalam Teknologi Konstruksi dan Perumahan

Inovasi bangsa Indonesia yang telah dikenal adalah Sistem Cakar Ayam dari Sedyatmo (1982), sistem Sosrobahu dari Tjokorda Raka Sukawati (1985) (**Gambar 5**), serta beberapa paten dari JH Simanjuntak.

Beberapa inovasi teknologi konstruksi, terutama dibidang perumahan yang berhasil dikembangkan dan mendapat sukses komersial disajikan pada bagian ini. Umumnya teknologi ini dengan menggunakan beton pracetak Penemuan pertama adalah sistem sambungan tiang pancang beton pada 1982. Temuan ini sangat berhasil secara teknis dan komersial, terutama sejak dipakainya sistem ini pada seluruh pondasi tiang pancang pier Jalan Tol Cawang - Priok. Inovasi lain yang telah di hasilkan antara lain Grid Slab (1989), Waffle Crete System, Column - Slab (1997), Sistem-sistem Pracetak untuk Rumah Susun, dan Sistem Pracetak untuk Rumah Sederhana Sehat..

Visi yang tajam, pengetahuan dasar yang baik, penghayatan yang dalam setiap pekerjaan yang dilakukan, serta usaha yang keras menjadi penentu utama dihasilkan suatu inovasi yang handal, ekonomis, berguna bagi masyarakat dan akhirnya membawa keuntungan finansial bagi penemunya. Pada akhir bagian ini disajikan kisah singkat mengenai beberapa temuan yang membawa pengaruh besar dalam industri konstruksi Indonesia.

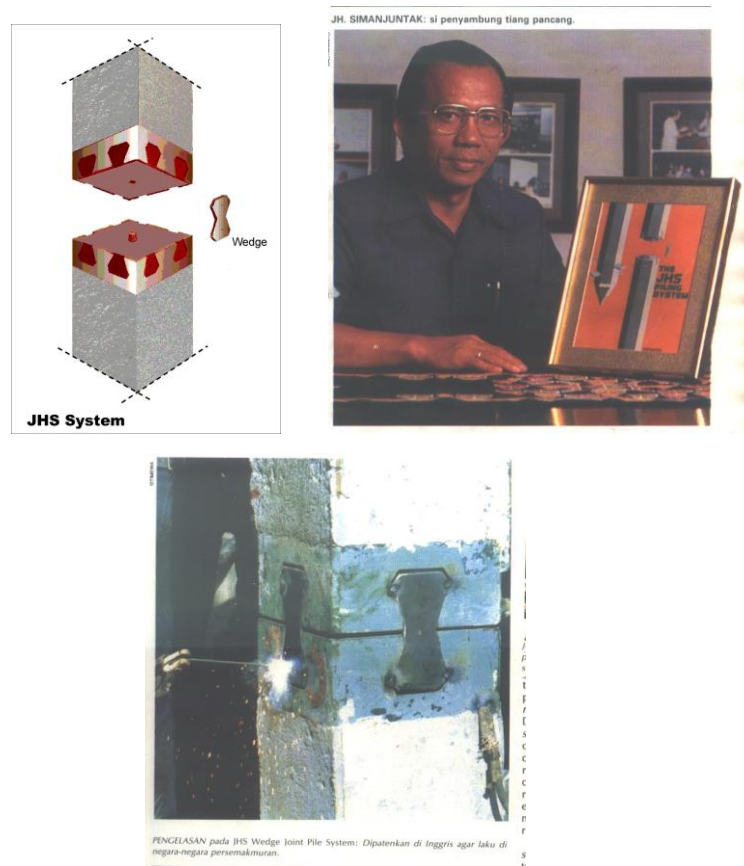


Gambar 5 Inovasi Bangsa Indonesia

3.5.1 Sambungan Tiang Pancang Beton

Pada awal masa tumbuhnya industri konstruksi Indonesia (1960-an), sistem pondasi dalam umumnya terbuat dari baja. Hal ini disebabkan kemudahan penyambungan bahan ini (dengan las). Bahan baja saat itu (bahkan sampai saat ini) umumnya mahal dan seringkali masih diimpor. Pemilihan bahan terpaksa dilakukan, karena bahan beton yang dapat diproduksi dalam negeri, tidak dapat digunakan untuk tiang pancang bersambung karena belum ada cara yang handal untuk menyambung tiang pancang beton. Prof. Rooseno pada tahun 1962 memelopori inovasi sambungan tiang pancang beton pada pembangunan Gedung Sarinah (sedalam 60 m), namun masih ada beberapa kekurangan, karena tidak bisa menahan tegangan tarik.

Masalah ini terus berlanjut sampai pada tahun 1982, pada pembangunan Gedung Danareksa. Jika digunakan tiang pancang baja biayanya Rp 3.5 Milyar, yang terasa sangat mahal. Alternatif penggunaan tiang pancang beton memerlukan sistem sambungan khusus untuk menahan tegangan tarik. Pada saat itu yang tersedia adalah sistem sambungan paten luar negeri dari Swedia yang biaya pondasi memang berkurang menjadi Rp 2.1 milyar, namun masih terasa mahal. Pada kesempatan ini, inventor JH Simanjuntak mengusulkan sistem sambungan baji (**Gambar 6**) [9], yang mampu menghemat biaya pondasi menjadi Rp 970 juta. Harga sambungan dari Swedia tersebut adalah Rp 450.000,-/buah sedangkan harga sambungan JHS untuk produksi adalah Rp. 125.000,-/buah dengan harga jual Rp. 250.000,-/buah.



Gambar 6 Penemuan Sambungan Tiang Pancang

Sistem ini dipikirkan secara kontemplatif dari mulainya timbulnya ide selama 2 minggu, namun hal ini merupakan manifestasi pemikiran selama 18 tahun sejak timbulnya ide pertama dari pengembangan pertama sambungan tiang pancang di Proyek Sarinah dari Prof Rooseno. Sistem ini lalu diuji bersama, diterima bersama dan akhirnya dipatenkan.

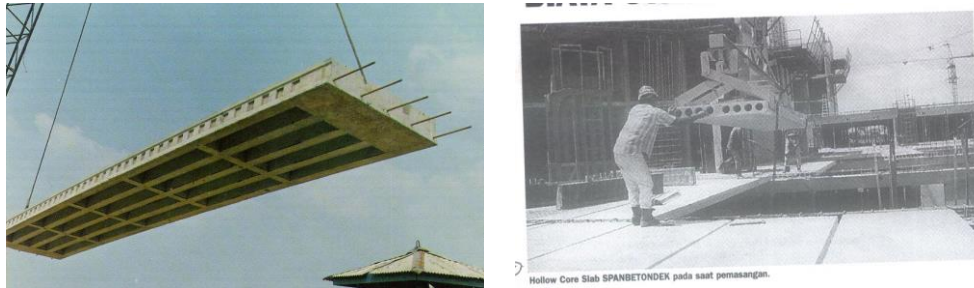
Sistem sambungan sangat baik dan membawa revolusi dalam industri konstruksi, karena penyambungan tiang pancang beton menjadi mudah, murah dan aman. Bahan beton segera mengeser baja sebagai bahan tiang pancang. Sistem ini juga telah mendapatkan paten dari Biro Oktrooi Rooseno dan Inggris. Penemuan ini sangat sederhana, namun efeknya sangat besar. Penemunya sekarang telah memiliki tiga pabrik besar di Jakarta (7 ha), Karawang (12 ha) dan Surabaya (4 ha).

3.5.2 Grid Slab

Pada tahun 1984, komponen pracetak lantai mulai diperkenalkan [3]. Bentuk yang umum digunakan adalah pelat prategang berongga (hollow core slab). Pada waktu itu bahan – bahan memang sebagian besar sudah diproduksi dalam negeri, namun mesin spinning pembuat rongga masih diimpor. Kontroversi yang timbul saat itu adalah sifat lantai kaku yang diragukan, karena adanya sambungan antar komponen pelat. Kesepakatan yang diambil

saat itu adalah persyaratan diberinya topping untuk menyatukan seluruh komponen lantai menjadi kaku.

Pada tahun 1989 dikembangkan suatu bentuk lantai pracetak yang berbentuk grid (**Gambar 7**). Rongga dikonversikan dalam bentuk grid dua arah. Bentuk ini jelas tidak memerlukan mesin impor, sehingga harga produksi menjadi lebih murah. Sambungan antar pelatpun direncanakan khusus, yaitu mampu mentransfer gaya geser pada lantai, sehingga asumsi lantai kaku dapat dicapai tanpa tambahan topping.



Gambar 7 Grid Slab vs Hollow Core

3.5.3 Sistem Waffle Crete

Sistem pracetak untuk bangunan gedung yang berkembang di Indonesia sampai pada tahun 1985, umumnya berupa sistem pracetak sebagian. Konfigurasi umum adalah balok dan kolom dibuat dengan cor di tempat, sedangkan pelat menggunakan sistem lantai pracetak. Sistem ini dirasa belum optimal, sehingga ide untuk membuat sistem pracetak penuh sangat menantang. Kendala utama adalah belum adanya pengalaman, serta masalah kehandalan sambungan yang belum didalami dengan baik [3].

Langkah pertama adalah menimba pengalaman dari pihak yang telah membangun sistem pracetak penuh. Pihak yang dipilih adalah Waffle Crete Internasional, dengan sistem bangunan “Waffle Crete”, yang berupa sistem dinding pemikul [5]. Pertimbangan utama adalah sistem ini adalah sistem ini sederhana, handal dan ekonomis sehingga mudah untuk dipelajari pekerja Indonesia. Jadi jika memang belum ada pengalaman, belajar pada orang asing bukanlah hal yang tabu, namun janganlah terlena. Penerapan sistem ini pada Rumah Susun Sederhana Cengkareng berhasil dengan baik dan banyak memberi pelajaran bagi pekerja Indonesia.



Gambar 8 Sistem Waffle Crete

3.5.4 Sistem Column Slab

Sistem Column - Slab [8] lalu dikembangkan berdasarkan pengalaman pelaksanaan sistem Waffle Crete, namun mengambil bentuk yang lain sama sekali. Bentuk dasar diambil dari sistem yang ada di Belanda, namun dilakukan modifikasi pada titik kumpul. Modifikasi ini penting karena titik kumpul sistem aslinya tidak direncanakan tahan gempa. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu pelat grid satu arah yang efisien dan komponen kolom (**Gambar 9**). Kehandalan sistem ini telah teruji dalam rangkaian pengujian yang telah dilakukan di Pusat Litbang Pemukiman antara tahun 1996 - 1998 dan telah mendapat paten Amerika.



Gambar 9 Sistem Column-Slab

Sistem ini dari segi bahan dapat menghemat sampai 30% dari sistem konvensional dan pemasangan yang sangat cepat, yaitu dua hari per lantai bangunan. Pada saat ini sistem telah diterapkan pada beberapa bangunan rumah susun sederhana dan perkantoran di seluruh Indonesia.

3.5.5 Sistem-Sistem Pracetak Untuk Rumah Susun

Indonesia mengenal sistem bangunan pracetak sejak digunakannya Sistem Precast dari Inggris di Rusun Sarijadi Bandung (1979). Perkembangan sistem ini agak vakum di era 1980 sampai mid 1990. Sistem ini mulai kembali berkembang pesat sejak 1995 dengan digunakannya Sistem Waffle Crete di Rusunawa Cengkareng. Setelah itu lalu lahir berbagai sistem seperti terlihat pada Tabel 5. Sistem-sistem ini disesuaikan dengan kondisi Indonesia seperti alat berat yang tak terlalu besar, transportasi yang terbatas, dan keterlibatan pakar dalam negeri



Gambar 10 Sistem Pracetak untuk Rumah Susun di Indonesia

Perhatian khusus ditujukan kepada sistem bangunan pracetak, karena pada bagian inilah terjadi dinamika yang menarik dalam aspek-aspek berikut

1. Pangsa pasar bangunan adalah nyata dan besar seperti rumah, rumah susun, rumah toko, apartemen dll. Khusus untuk rumah susun, Pemerintah Indonesia mempunyai program khusus pengadaan di kota-kota besar di seluruh Indonesia sebagai bagian dari Gerakan Nasional Pembangunan Sejuta Rumah (GNPSR) [16]
2. Konstruksi beton pracetak mempunyai nilai performa dan ekonomis yang lebih baik dibanding beton konvensional, yang disebabkan oleh empat aspek obyektif sebagai berikut :
 - (i) Efisiensi struktural sesuai tingkatan kreatifitas desain sistem struktur
 - (ii) Efisiensi dari kontrol kualitas. AAHSTO misalnya merekomendasikan kapasitas lentur dapat digunakan secara penuh (faktor reduksi $\phi = 1$) jika komponen dibuat secara pracetak [14].
 - (iii) Efisiensi dari produksi massal. Penggunaan cetakan pada konstruksi pracetak dapat berulang sampai puluhan kali, dibandingkan dengan beton konvensional yang umumnya hanya 2 - 3 kali pakai
 - (iv) Efisiensi dari penghematan waktu. Pada sistem bangunan, umumnya sistem pracetak dapat menghemat 20 % - 35% waktu pelaksanaan dibanding beton konvensional. Penghematan waktu ini dapat dikonversi menjadi penghematan biaya.

Jika kondisi ideal, diperkirakan sistem pracetak dapat menghemat sampai 25% dari biaya konstruksi.
3. Secara teknis perilaku sistem pracetak berbeda dengan beton konvensional yang pelaksanaannya di cor di tempat (*cast in situ*). Sistem beton konvensional dianggap bersifat monolit, sedangkan sistem pracetak perilakunya ditentukan oleh cara penyambungan antar komponen.
4. Pada saat ini sudah banyak sistem bangunan pracetak yang dikembangkan dan diterapkan di Indonesia, baik yang berasal dari luar negeri maupun yang dikembangkan oleh putra bangsa sendiri seperti terlihat pada Tabel 5 untuk Rumah Susun.

Tabel 5
Daftar Sistem Bangunan Pracetak untuk Rumah Susun di Indonesia

No.	Nama Produk	Tahun	Pemegang Paten	Pemegang Lisensi
1	Brecast	1979	UK	Tidak aktif
2	Cortina	1981	Meksiko	Tidak aktif
3	Waffle Crete System	1995	Waffle Crete International (USA)	PT Nusacipta Etikapura
4	Citra Ratu Bearing Wall	1997	Australia	PT Citra Ratu Mulia
5	Column Slab System	1997	JH Simanjuntak	PT JHS Precast Concrete Industri
6	Beam Column Slab System	1998	PT Adhi Karya	PT Adhimix Precast Indonesia
7	All Load Bearing Wall System	1998	PT Adhi Karya	PT Adhimix Precast Indonesia
8	Jasubakim System	1999	Binsar Hariandja & Sjafei Amri	PT Istaka Karya
9	Bresphaka System	1999	Binsar Hariandja & Sjafei Amri	PT Utama Karya
10	L Shape Wall System	1999	Brycon Internasional (UK)	Tidak aktif
11	T-Cap System	2000	Lutfi Faisal, Arief Sabarudin, Binsar Hariandja, Sjafei Amri	PT Pembangunan Perumahan
12	Less Moment Connection System	2002	Binsar Hariandja, Sjafei Amri, Samsu Trihadi, Moresende, Jendri	PT Paesa Pasindo Engineering
13	Wasppico System	2003	PT Pacific Prestressed Indonesia	PT Waskita Karya
14	WR System	2003	PT Wika Realty	PT Wika Realty
15	Spircon System	2004	Lutfi Faisal	PT Nindya Karya
16	PSA System	2004	Prijasambada, Andy K Manik	PT Limadjabat Jaya
17	Sistem Kolom Multi Lantai (KML)	2005	Edenta Sinuraya	PT Ultra Jasa Prima Persada
18	Sistem Priska	2005	Prijasambada & PT Istaka Karya	PT Istaka Karya

Persyaratan minimal sistem bangunan Pracetak yang direkomendasikan untuk dapat digunakan adalah:

1. Perencanaan : kompenenisasi,sambungan,metoda pelaksanaan. Sangat variatif tergantung kreatifitas inventornya
2. Pengujian dan pemodelan
3. Seminar dan sertifikasi
4. Mock up

Jika suatu sistem telah memenuhi seluruh persyaratan, biasanya dinyatakan dalam Sertifikasi/Rekomendasi dari Pusat Litbang Permukiman dan Asosiasi Pracetak Indonesia.

3.5.6 Sistem-Sistem Pracetak untuk Rumah Sederhana Sehat

Untuk rumah sederhana sehat (RSH), sistem pracetak yang dikembangkan relatif baru tampil di pasaran. Hal ini disebabkan persaingan yang sangat ketat dalam segi harga dengan sistem konvensional, yang sering tidak mempunyai standar kualitas yang sejajar. Beberapa sistem yang dikembangkan misalnya

Sistem RISHA yang dikembangkan Puslitbangkim, Sistem WR yang dikembangkan PT Wijaya Karya Realty, Sistem Panel Prategang yang dikembangkan PT JHS serta beberapa sistem panel sandwich yang dikembangkan baik oleh pihak dalam negeri maupun luar negeri.



Gambar 11 Sistem Pracetak untuk Rumah Sederhana Sehat

3.6. Analisis Umum

Kenapa perolehan paten Indonesia begitu rendah ? “Jawabannya terletak pada Budaya”(Cultural Background). Latar belakang sejarah Indonesia yang redup, 350 th dijajah, mayoritas sumber kehidupan dari sektor pertanian tradisional, membentuk pola pikir, pola tindak dan pola hidup. Beberapa “budaya” Indonesia yang negatif antara lain:

- Kurang siap kerja keras
- Tidak berfikir kritis, sikap “Nrimo”
- Tidak rasional, kunjungan ke makam tua untuk minta berkah
- Feodalisme menindas rakyat
- Kurang kesadaran akan makna teknologi

Bisakah Budaya berubah ? B i s a, asal ada political will yang berkesinambungan dari pemimpin bangsa dalam kurun waktu yang cukup lama. Pepatah mengatakan *“Culture is a matter of ethical habit. It changes very slowly, much more slowly than ideas”*

Dari segi bisnis suatu temuan dengan superior technology, tapi tidak di apresiasi publik , maka produk tersebut tidak akan bekerja baik/diterima di pasar/market. Inilah salah satu perbedaan besar antara R & D dan bisnis. Sebagai orang R & D , anda berhasil menciptakan sesuatu keberhasilan dalam

arti sepenuhnya apabila “ The price is right”. Inilah bagian yang tersulit dari bisnis temuan.

Temuan harus memenuhi syarat C & G (Cheap and Good)

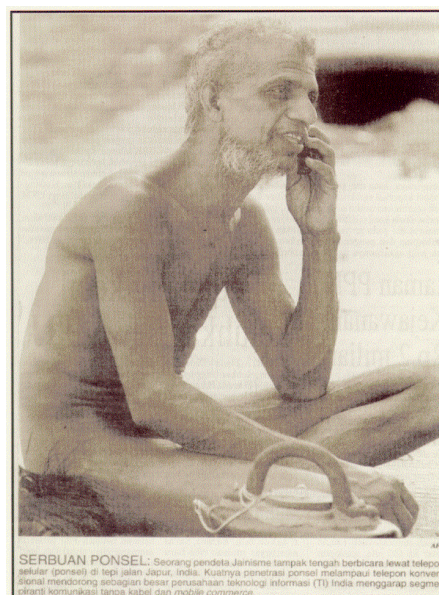
Posisi Indonesia didalam perdagangan Teknologi di antara bangsa-bangsa maju adalah: *“Sebagai Bangsa Pembeli”*

1. Trade of technology tidak seimbang
2. Indikator-indikator dalam pasal 3 menunjukkan sangat kurangnya kemampuan bersaing Indonesia.
3. Terikat dalam kerangka IPR (Intellectual Property Right)
4. The Survival of The Fittest (teori Darwin) : Yang kuat, yang pintar, yang berhak untuk hidup sebagai bangsa kelas satu.
5. *“Sate Soto Mate Na Oto”*.

Invensi penting bagi Kehormatan Bangsa. **Sakichi Toyoda**, pendiri Toyota mengatakan sebagai berikut :

1. Japanese people were prohibited from immigrating to the US. For reasons unknown, he concluded Japan is not respected because it does not create great inventions. For this reason Japan must strike to create new inventions.
2. 1995. If you think Japan is copy cat, think again.

Serbuan TEKNOLOGI terjadi kepada seluruh lapisan masyarakat, termasuk pada seorang pendeta Jainisme di India yang asyik menggunakan hand phone seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Serbuan Teknologi

Siapa memberikan kemakmuran kepada siapa ?

Dari segi ilmu pengetahuan, suatu temuan di bidang konstruksi seperti pada waktu pertama kali ditemukan pada dasarnya tidak ada teori khusus yang mendukung. Suatu penemuan baru bahkan biasanya melahirkan asumsi atau teori baru, dan setelah banyak digunakan orang, barulah diterima dalam lingkup ilmiah dan umum.

3.7. Penutup

Fakta statistik menunjukkan dengan jelas hubungan antara parameter kreatifitas bangsa dengan parameter kesejahteraan bagi inventor dan masyarakat yang menikmatinya. Apakah ini merupakan permasalahan budaya? Berbagai kenyataan mengindikasikan hal tersebut, sehingga dirasakan perlu untuk meningkatkan “budaya menemukan” kita. Pengalaman penulis yang disajikan pada makalah ini, diharapkan dapat membuka wawasan bagi seluruh komponen bangsa agar terus bekerja keras untuk menumbuhkan kemampuan berinovasi, memperbanyak paten yang mendukung industri, yang pada akhirnya diyakini akan membawa bangsa Indonesia ke tingkat yang lebih makmur.

Suatu pepatah penting yang harus menjadi perhatian kita adalah

**Patents is an indicator of technology.
Technology is a game for the rich
A dream for the poor
And a choice for the wise !**

Jika kita tidak mampu memperhatikan hal ini, niscaya pidato Bung Karno tanggal 17 Agustus 1963 akan menimpa kita :

Dan sejarah akan menulis, di sana antara Benua Asia dan Benua Australia,
antara Lautan Teduh dan Lautan Indonesia,
adalah hidup suatu bangsa yang mula-mula hidup menjadi bangsa,
akhirnya hidup menjadi kuli di antara bangsa-bangsa, kembali menjadi
“ en natie van koelis en een koeli onder de naties “.

Sungguh bisa menjadi kenyataan, yang membuat bangsa Indonesia / penduduk pribumi sebagai bangsa pencari upah belaka, bangsa sebagai pemakan upah diantara bangsa-bangsa.

4. Tujuan

Beberapa tujuan penting yang ingin dicapai dalam mata kuliah ini diantara lain :

1. Memberikan gambaran mengenai perkembangan dunia secara umum dan secara khusus posisi Indonesia.

2. Memberikan gambaran peran metodologi penelitian yang sentral dalam mendukung perkembangan iptek dan rekayasa, khususnya dalam bidang teknologi perumahan dan rekayasa pembiayaannya.
3. Memberikan pengetahuan dasar metodologi penelitian dan statistik pada mahasiswa agar mampu membuat karya akademik wajib (tugas, laporan praktikum, kerja praktek dan tesis) dengan baik, yang menjadi dasar dalam proses pembentukan SDM yang handal.
4. Memberikan kemampuan bersosialisasi dengan masyarakat, yang sesuai dengan “karakter mahasiswa”, yaitu dengan sebagai golongan terpelajar yang memegang teguh integritas akademiknya. Sosialisasi dengan masyarakat antara lain : seminar, lomba karya tulis, diskusi serta apresiasi karya – karya masyarakat.

5. Silabus Kuliah

Kuliah dilakukan minimum 12 kali pertemuan @ 2jam, dengan materi sebagai berikut :

1. **Pengantar Umum** : pendahuluan, latar belakang, tujuan, metodologi penelitian dalam proses inovasi silabus, , pustaka.
2. **Definisi dan istilah - istilah dasar** : definisi dan terminologi yang digunakan dalam perkuliahan
3. **Metoda Ilmiah dan Langkah-langkah Penelitian** : pemahaman metoda ilmiah metodologi penelitian dan langkah serta cara melakukan penelitian
4. **Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif** : pemahaman penilaian kuantitatif dan kualitatif sehingga dapat memilih alur penelitian yang tepat untuk kasus tertentu.
5. **Penyusunan Proposal dan Laporan Penelitian** : pemahaman lebih lanjut langkah-langkah penelitian agar dapat menyusun proposal dan laporan penelitian dengan baik.
6. **Teori Statistik** : pemahaman teori statistik dan parameter-parameternya sebagai alat bantu mengelola fenomena yang bersifat acak.
7. **Teori Probabilitas** : pemahaman teori probabilitas agar dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan terhadap fenomena yang bersifat acak.
8. **Pengambilan Keputusan Berdasarkan Teori Statistik dan Probabilitas** : Contoh-contoh kasus pengambilan keputusan dalam kasus kehandalan, estimasi, prediksi, optimasi dan korelasi.
9. **Studi Kasus** : simulasi kasus dalam Rekayasa Pembiayaan Perumahan menyangkut teori korelasi, optimasi, dan kasus khusus pada Rumah Susun Sewa.

6. Pustaka

Beberapa putaka penting yang digunakan dalam perkuliahan ini antara lain :

1. Ang, A.H.S, W.H. Tang (1984). *Probability Concepts in Engineering, Planning and design*, John Wiley & Sons, New York.
2. Creswel, J.W (), *Research Design, Qualitative, Quantitative and Mixed Method*
3. Greenfield, T. (2002), *Research Methods for Post Graduates*, Arnold, London
4. Hadi, S. (1996), *Statistik*, Andi Offset, Yogyakarta.
5. Jonbi (2001), *Tren Ilmu Teknik Sipil Era Milenium Baru*, John Hi - Tech Idetama, Jakarta
6. Kumar (), *Research Methodology, A Step by Step Guide for Begineers*
7. Mattjik, A.A, I.M. Sumertajaya (2002), *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid I*, IPB Press, Bogor
8. McClave, J.T., T.L. Sincich, *Statistics (9th Edition)*
9. Moleong, L.J. (1998), *Metodologi Penelitian Kualitatif*, Remaja Rosdakarya, Bandung.
10. Naoum, S.G. (1999), *Dissertation Research and Writing for Construction Students*, Butterworth-Heinmann, Oxford
11. Narbuko, C., A. Achmadi (1997) *Metodologi Penelitian*, Bumi Aksara, Jakarta
12. Nazir, M. (1985), *Metoda Penelitian*, Ghalia Indonesia
13. Sasmojo, S. (1991) dkk, *Menerawang Masa Depan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan seni*, Penerbit ITB, Bandung.
14. Sosrowinarso (1998), *Rekayasa Struktur, Interaksi dengan perkembangan Ilmu pengetahuan dan teknologi serta kecenderungna di masa datang. Orasi Ilmiah Dies Natalis ke -29 Institut Teknologi Bandung*, Penerbit ITB, Bandung.
15. Trochim, W.M.K. (), *The Research Methods Knowledge Base*
16. Walpole, R.E. (2002), *Probability and Statistics for Engineers and Scientist*, 7 th Edition

BAB II

BEBERAPA DEFINISI & ISTILAH DASAR

1. Beberapa Definisi dan Istilah

1. Ilmu Pengetahuan : Kumpulan pengalaman - pengalaman dan pengetahuan - pengetahuan dari sejumlah orang yang dipadukan secara harmonik dalam bangun yang teratur.
2. Teknik : Suatu cara yang teratur dan mudah untuk melakukan suatu berdasarkan proses berpikir.
3. Teknologi : Suatu pengorganisasian sistematis dari berbagai ilmu, pengetahuan, pengalaman dan ketrampilan dalam proses, peralatan, cara berfikir, pendekatan untuk mempermudah pengadaan, perbaikan atau penyempurnaan dari sesuatu.
4. Rekayasa : Suatu proses sistematis berdasarkan ilmu, pengetahuan, pengalaman dan ketrampilan untuk menciptakan sesuatu yang baru atau memecahkan suatu permasalahan.

2. Metodologi Penelitian

Metodologi berasal dari kata "metode" yang artinya cara yang tepat untuk melakukan sesuatu; dan "Logos" yang artinya ilmu. Jadi metodologi artinya cara melakukan sesuatu dengan menggunakan pikiran secara seksama untuk mencapai tujuan.

Penelitian adalah suatu usaha sistematis dalam mencapai tujuan melalui kegiatan pengumpulan dan analisis data/fakta, sampai pada laporannya.

Tujuan penelitian antara lain adalah : menemukan permasalahan, memecahkan permasalahan, pengembangan dan pengujian kebenaran.

Jadi metodologi penelitian adalah ilmu yang mempelajari cara - cara pengamatan dengan pemikiran yang tepat secara terpadu melalui tahapan - tahapan yang disusun secara sistematis untuk mencari, menyusun serta menganalisis dan menyimpulkan data - data, sehingga dapat dipergunakan untuk menemukan permasalahan, memecahkan permasalahan, pengembangan dan pengujian kebenaran.

Pemahaman yang baik terhadap metodologi penelitian diharapkan akan memberi manfaat :

1. Dapat menyusun laporan/tulisan/karya ilmiah baik dalam bentuk paper, skripsi, tesis, atau disertasi.
2. Mengetahui arti pentingnya penelitian, sehingga keputusan yang dibuat dapat dipikirkan dan diatur sebaik – baiknya.
3. Dapat menilai hasil penelitian dan karya tulis yang sudah ada.

3. Norma Kebenaran Ilmiah

Pada jaman sekarang ini, metodologi penelitian tidak bisa dipisahkan dengan suatu metoda yang dikenal dengan metoda ilmiah. Kumpulan penelitian akan menghasilkan suatu ilmu dan ilmu akan menghasilkan suatu kebenaran dengan nirma ilmiah.

Apa kebenaran itu? Ini adalah suatu pertanyaan klasik sejak jaman para pemikir Yunani kuno. Pertanyaan selanjutnya adalah apakah kebenaran bersifat mutlak?, ataukan bersfiat relatif?, atau apakah kebenaran bersifat tunggal, ataukah ada berbagai versi?, atau apakah kebenaran itu lunak atau dinamis bergantung pada waktu ?

Pada sub bab ini ini akan dibahas kebenaran versi ilmiah, cara memperoleh kebenarannya, serta perbandingannya dengan metoda non – ilmiah. Pembahasan mengenai sifat – sifat ilmiah juga dijabarkan, untuk menerangkan fakta, bahwa metoda ilmiah yang menguasai peradaban dunia saat ini.

3.1. Antara Fakta, Kebenaran Ilmiah, dan Kebenaran Non-ilmiah

Didunia ada beberapa faktor alam yang dapat diamatai bersama. Fakta adalah sesuatu yang diakui kebenarannya oleh semua oran. Contoh : matahari terbit ditimur dan tenggelam di barat, air mengalir darai tempat yang tinggi ketempat yang rendah, tangan manusia kalau memukul batu pasti rasanya sakit, dll. Manusia adalah satu – satunya mahluk di dunia ini yang memiliki hasrat keingintahuan yang besar, dan memiliki kemampuan untuk melakukan hal tersebut. Manusia tidak pernah merasa puas dengan fakta – fakta tersebut, baik hanya untuk memuaskan hasrat keingintahuannya, ataupun memanfaatkannya untuk memperoleh kehidupan yang lebih baik.

Usaha manusia untuk memperoleh penjelasan fakta tersebut, dapat digolongkan sifatnya menjadi ilmiah dan non ilmiah. Usaha yang bersifat non ilmiah menghasilkan rumor, lagenda sampai mitos. Usaha yang bersifat ilmiah menghasilkan hukum dan teori (science). Pada tahap penerapan, penjelasan non ilmiah bisanya menghasilkan serangkaian tindakan ritula, sedangkan penjelasan ilmiah dapat menghasilkan teknik dan teknologi yang mempermudah hidup manusia. Tabel 1 menyajikan contoh beberapa fakta alam beserta usaha penjelasan ilmiah dan non ilmiah, serta penerapannya.

Tabel 1. Fakta, Penjelasan, dan Penerapan

Fakta	Tinjauan Ilmiah - pemanfaatan	Tinjauan non ilmiah - ritual
Matahari	Kumpulan unsur hidrogen yang terbentuk karena gravitasi, lalu terjadi rekasi fusi yang menyebabkan radiasi. Dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik	Dewa pemberi kehidupan Pada beberapa suku kuno, dikembangkan ritual pemujaan matahari
Gerhana	Tertutupnya matahari oleh bulan Dimanfaatkan untuk penelitian sifat matahari, pembuktian teori relativitas umum, pariwisata, fotografi	Matahari dimakan raksasa Diadakan ritual untuk mengusir raksasa
Puncak Gunung	Terbentuk karena proses pergerakan lempeng bumi Kaya akan mineral yang bisa ditambang, pariwisata, energi panas bumi	Rumah para dewa, lagna sangkuriang Tidak boleh didaki, kalau meletus pertanda dewa marah
Mimpi	Tidak bisa dideteksi Tidak bisa dimanfaatkan secara ilmiah	Alam, roh dapat berkomunikasi dengan roh lain Peramalan, petunjuk untuk kehidupan, pemilihan lotre.

Keberanan ilmiah akan suatu fakta, adalah keberanan yang diperoleh setelah melalui proses pencarian keberanan secara ilmiah. Peneliti adalah langka awal untuk menemukan keberanan. Publikasi penelitian dalam bentuk makalah didiskusi, seminar dan jurnal adalah wahan untuk komunikasi, diskusi, dan pengujian keberanan tersebut. Keberanan ilmiah mempunyai tingkatan sebagai berikut :

1. Hukum : suatu keberanan yang telah diakui oleh semua orang. Contoh : hukum gerak newton, hukum termodinamika, hukum ekonomi.
2. Teori : suatu keberanan yang diakui logikanya oleh sekelompok orang, terutama dibidang yang bersangkutan, namun belu/sulit dibuktikan secara menyeluruh. Contoh : teori evolusi, teori relativitas.
3. Tesis : suatu keberanan yang telah melalui proses ilmiah dari penelitian sampai publikasi ditingkat jurnal. Keberanan ini telah teruji secara terbatas, namun tingkat generalisasinya masih belum diakui. Contoh : tesis huntington mengenai "*Clash of Civilization*"

3.2 Cara Memperoleh Kebenaran Ilmiah

Cara memperoleh kebenaran dengan metoda ilmiah mempunyai beberapa sifat sebagai berikut :

1. Skeptik : Upaya untuk selalu mempertanyakan bukti - bukti
2. Analitik : langkah - langkah penelitian selalu melalui kajian yang menggunakan logika dan sistematis.
3. Kumulatif : langkah maju penelitian selalu berdasarkan hal - hal yang telah dianggap benar sebelumnya.
4. Jujur : hasil penelitian disajikan secara apa adanya
5. Terbuka : Hasil penelitian harus dilaporkan dengan terbuka, untuk diberi masukan, dikritik, atau dibantah.
6. Obyektif ; jika penelitian dilakukan oleh pihak lain, biasanya akan menghasilkan kesimpulan yang tidak jauh berbeda.
7. Ekspansif : hasil suatu penelitian selau menimbulkan permasalahan lanjutan.

Cara memperoleh kebenaran dengan metoda ilmiah sekarang mendominasi kebudayaan dunia. Sifat - sifat diatas merupakan salah satu penunjang utama yang menyebabkan metoda ilmiah menjadi dominan dibanding metoda non ilmiah.

Penunjang lain adalah sarana perguruan tinggi. Pada badan ini, seluruh kegiatan dilandaskan metoda ilmiah. Mahasiswa adalah pihak yang menimba ilmu, melalui proses kuliah, tugas, praktikum, kerja praktek, dan pembuatan skripsi. Dosen adalah pihak yang memberi ilmu, dan melakukan penelitian untuk mengembangkan ilmunya. Pihak administrasi mengkoordinasikan seluruh kegiatan perguruan tinggi. Perguruan tinggi adalah surga bagi kegiatan ilmiah. Perguruan tinggi yang baik selalu dapat menghasilkan sumber daya manusia yang handal sebagai penerus, dan penelitian yang terus berkembang.

3.3 Cara Memperoleh Kebenaran non ilmiah

Beberapa cara memperoleh non ilmiah adalah sebagai berikut :

1. Akal sehat : rangkaian konsep praktis untuk memecahkan masalah. Contoh : matahari mengelilingi bumi.
2. Prasangka : penafsiran sesuatu masalah dengan latar belakang kepentingan/pandangan tertentu. Contoh : bumi adalah datar, karena tertulis dikitab suci (upaya mempertahankan kedudukan ulama).
3. Otoritas : penafsiran dilakukan oleh pihak yang mempunyai otoritas. Contoh : fatwa ulama mengenai berbagai hal dalam masyarakat.
4. Coba - coba : hal yang dimaksud adalah penafsiran/kegiatan penelitian yang bersifat untung - untungan. Contoh : usaha menemukan formula membuat emas dari tembaga. Cara ini biasanya tidak efisien dan tidak terkontrol, walau memang terkadang beberapa penemuan adalah kebetulan. Contoh : penisilin oleh Fleming.

5. Intuitif : proses yang dilakukan secara tepat tanpa disadari atau dipikir terlebih dahulu. Contoh : Menristek Habibie menyatakan hanya dalam satu hari penyebab kecelakaan pesawat CN-235 adalah "human error".
6. Spiritual : Proses mencari kebenaran lewat dunia supranatural. Contoh : mencari jodoh atau maling lewat dukun, ilmu kebatinan.

Cara - cara semacam ini semakin lama semakin ditinggalkan orang, mengingat makin kompleksnya kehidupan dunia, sehingga tiap langkah yang diambil biasanya membutuhkan langkah - langkah ilmiah untuk mendapatkan pemecahan yang baik.

Perguruan - perguruan non - ilmiah juga dikenal didunia, misalnya perguruan bela diri, ilmu spiritual, dll. Sifat perguruan ini sangat bertolak dengan perguruan tinggi ilmiah. Perguruan biasanya didirikan oleh seorang guru yang mendapatkan "wahyu khusus". Transfer ilmu biasanya tertutup, dan dari generasi kegenerasi umumnya ilmunya makin sedikit. Hal ini disebabkan prinsip dasar perguruan ini : guru selalu menyimpan ilmu andalan samapai kematiannya. Jika ilmu diberikan semuanya, dikhawatirkan murid berkhianat pada gurunya.

Agama dan kitab suci pada saat ini sama sekali tidak dianggap sebagai dokumen ilmiah (terutama oleh ilmuwan barat). Hal ini terutama didasarkan pada sifat non skeptis, dimana tiap ayat merupakan kebenaran yang tidak boleh dipertanyakan lagi. Truma utama bagi ilmuwan barat adalah peristiwa pertentangan teori heliosentris antara kaum ulama dan ilmuwan jaman renaissance, yang membawa korban darah.

4. Kualifikasi Penelitian Fenomena Alam

Di dalam alam, ada banyak kualifikasi dalam penelitian dalam menelaah fenomena alam. Secara umum hal tersebut dapat dibagi menjadi penelitian atas fenomena alam yang bersifat kuantitatif dan kualitatif.

4.1 Penelitian atas Fenomena Alam yang Bersifat Kuantitatif

Penilaian kuantitatif adalah penilaian yang dinyatakan dengan kuantitas (angka/nilai). Suatu fenomena alam yang bersifat kuantitatif biasanya akan dapat disusun suatu set formula yang dapat meramalkan dengan baik fenomena tersebut. Jika tingkat kepastian fenomena tersebut sangat tinggi, analisis terhadap fenomena tersebut disebut bersifat *deterministik*. Jika fenomena tersebut dapat terkuantifikasi tapi bersifat acak (random), maka analisis terhadap fenomena tersebut disebut bersifat *stokastik*.

Pergerakan benda-benda langit adalah suatu fenomena yang bersifat deterministik, sehingga manusia dapat merumuskan suatu formula yang dapat meramalkan secara tepat waktu terjadinya gerhana matahari dan bulan. Manusia juga bahkan dapat mengirim wahana ke angkasa luar untuk dapat dikontrol dengan baik.

Kejadian cuaca dan gempa merupakan suatu fenomena yang bersifat stokastik. Secanggih apapun teknologi yang telah dikembangkan, tidak ada yang dapat

meramal secara tepat kapan hujan, banjir, badai, atau gempa terjadi. Untuk menganalisis fenomena ini dibutuhkan statistik dan teori probabilitas.

4.2 Penelitian atas Fenomena Alam yang Bersifat Kualitatif

Penilaian kualitatif dinyatakan dengan pernyataan kata – kata atau gambar seperti : deksripsi, katagori, baik, buruk, cukup, besar, kecil, sebanding, sejenis, lebih dari, kurang dari, terbaik, terjelek dan lain – lain. Perilaku manusia misalnya, adalah suatu fenomena yang sangat sulit untuk dikuantifikasi. Jadi hal ini biasanya dilakukan pada penelitian terhadap fenomena alam yang terkait dengan perilaku makhluk hidup (masalah sosial).

5. Teori Statistik dan Probalilitas

Teori statistik dan probalilitas digunakan untuk menganalisis fenomena alam yang bersifat kuantitatif namun acak (random). Fenomena acak tidak bisa didefinisikan dalam 1 parameter, sehingga dibutuhkan suatu set parameter yang mendeskripsikan sifat suatu fenomena acak, yang dikenal dengan parameter statistik. Pengambilan keputusan yang terkait dengan fenomena acak akibatnya menjadi tidak bisa sangat tepat, namun berupa suatu “kemungkinan yang terkuantifikasi”, yang secara sistematis dikenal dengan teori probabilitas.

Pada perkembangan selanjutnya, kedua teori ini banyak diterapkan untuk mendukung penelitian kualitatif, sehingga terjadilah suatu kombinasi antara cara kualitatif dan kuantitatif.

BAB III

METODA ILMIAH DALAM METODOLOGI PENELITIAN

1. Metoda Ilmiah

Penelitian biasanya dilakukan dengan metode ilmiah. Metode ilmiah mempunyai 5 langkah dasar yang harus dilalui. Pada penelitian yang terkait dengan ilmu pengetahuan penjabaran metode ilmiah adalah :

1. Identifikasi masalah
2. Studi pustaka : postulat dan teori yang dapat dijadikan pondasi penelitian
3. Pengajuan hipotesis
4. Pelaksanaan penelitian untuk menguji hipotesis
5. Kesimpulan : Hipotesis terbukti atau tidak.

Pada penelitian yang terkait dengan proyek rekayasa, penjabaran metode ilmiah adalah :

1. Penemuan permasalahan
2. Studi Pustaka : pengumpulan solusi terdahulu yang mungkin relevan dengan permasalahan.
3. Pengajuan konsep pemecahan permasalahan
4. Pelaksanaan penelitian untuk menguji konsep pelaksanaan
5. Kesimpulan: konsep pemecahan dapat diterima, gagal, atau perlu disempurnakan.

2. Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang lebih rinci berdasarkan metoda ilmiah adalah sebagai berikut :

Metode Ilmiah	Langkah Penelitian
1. Identifikasi Masalah	1. Menemukan, Memilih dan merumuskan masalah
2. Studi Pustaka	2. Menyusun Latar belakang teoritis
3. Pengajuan Hipotesis	3. Menetapkan Hipotesis
4. Pelaksanaan Penelitian	4. Menetapkan variabel 5. Memilih alat pengumpulan data 6. Menyusun rancangan penelitian 7. Menentukan sampel 8. Menyimpulkan dan menyajikan Data 9. Mengolah, menganalisis, menginterpretasikan data
5. Kesimpulan	10. Mengambil kesimpulan 11. Menyusun laporan 12. Mengemukakan implikasi

Contoh penguraian Laporan penelitian dengan langkah - langkah penelitian dan metode ilmiah

Metode Ilmiah	Langkah Penelitian	
I. Identifikasi Masalah	1. Menemukan, Memilih, dan merumuskan masalah	Menguji kehandalan balok Y prategang dengan sistem debonded untuk jembatan yang pertama kali diperkenalkan di Indonesia 1993
II. Studi Pustaka	2. Menyusun latar Belakang teoritis	Teori Beton Prategang Sifat - sifat penampang Teori mekanika teknik Perturan pembebanan jembatan
III. Pengajuan hipotesis	3. Menetapkan hipotesis	Balok Y prategang pratarik dengansistem debonded memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai balok jembatan
IV. Pelaksanaan penelitian	4. Menetapkan variabel	Beban rancana : peraturan jembatan Mutu beton : K-500 Perkuatan (prategang dan sengkang) Perubahan bentuk
	5. Memilih alat pengumpulan data	Perencanaan numerik berdasarkan peraturan yang berlaku Studi eksperimental untuk membuktikan kehandalan
	6. Menyusun rancangan penelitian	Perencanaan benda uji berdasarkan peraturan beban jembatan Perencanaan skema pemberian beban : sistem kentledge Perencanaan skema sensor pembaca beban

		<p>dan perpindahan : load cell, transducer</p> <p>Penentuan skedule pembebanan : berdasarkan momen retak dan momen batas. Dijabarkan dalam 4 siklus pembebanan</p> <p>Pengujian dan perekaman data : data longer, komputer</p> <p>Penentuan syarat - syarat kehandalan : pada momen aktual performa struktur < perkiraan teoritis, pada beban layan lendutan yang terjadi < lendutan ijin, derajat pemulihan > 80%</p>
	7. Menentukan sampel	<p>1 buah balok tipe Y3; L=15 m; 15 ea 1/2"</p> <p>ASTM A416 grade 270</p> <p>Balok dua perletakan dengan beban simetris</p>
	8. Menyimpulkan dan menyajikan data	<p>Data numerik beban & erpindahan</p> <p>Hysteresis loop</p> <p>Pola Retak</p>
	9. Mengolah, menganalisis, menginterpretasi data	<p>Pengamatan pada tiap siklus pembebanan</p> <p>Kapasitas balaok mampu menahan 5x beban hidup (dari rencana 3x beban hidup)</p> <p>Balok belum runtuh samapi estimasi beban runtuh</p> <p>Lendutan yang terjadi pada beban layan 4.26 mm < lendutan ijin 6.5 mm....OK</p>
V. Kesimpulan	10. Mengambil Kesimpulan	<p>Balok Y prategang pratarik dengan sistem debonded memenuhi persyaratan untuk</p>

		digunakan sebagai balok jembatan
	11. Menyusun laporan	
	12. mengemukakan implikasi	Sistem ini dapat digunakan sebagai alternatif balok jembatan, disamping balok I prategang paska tarik yang umum digunakan

3. Cara Melakukan Penelitian

Cara melakukan penelitian yang umum adalah :

1. **Observasi (pengamatan)** : Pelaksanaan penelitian berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat secara sistematis gejala - gejala yang diselidiki. Penelitian dapat dilakukan “di atas meja”, seperti dengan menggunakan model matematis atau simulasi komputer, atau dengan cara eksperimental baik dengan uji model maupun prototipe. Cara observasi umum digunakan dalam ilmu pengetahuan alam dan rekayasa teknik.
2. **Angket** : Pelaksanaan penelitian berdasarkan pengumpulan data berdasarkan rangkaian pertanyaan mengenai suatu masalah atau bidang yang akan diteliti. Cara ini banyak digunakan dalam penelitian ilmu pengetahuan dan rekayasa sosial.
3. **Wawancara** : Pelaksana penelitian berdasarkan pengumpulan data dari proses tanya jawab secara lisan dalam mana dua orang atau lebih bertatap muka mendengarkan secara langsung berbagai informasi dan keterangan. Cara ini banyak digunakan dalam penelitian ilmu pengetahuan dan rekayasa sosial.

4. Jenis Karya Tulis

Karya tulis yang didasarkan hasil penelitian dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Karya tulis akademik : dilakukan dalam payung akademik (dalam proses pendidikan formal perguruan tinggi)
 - a. laporan Praktikum
 - b. laporan kerja praktek
 - c. skripsi - tugas akhir tahap sarjana S-1
 - d. tesis - tugas akhir tahap magister S-2
 - e. Disertasi - tugas akhir tahap Doktor S-3
2. Karya tulis umum :
 - a. laporan praktikum
 - b. laporan perencanaan
 - c. laporan verifikasi
 - d. artikel ilmiah

- e. makalah dalam prosiding
- f. makalah dalam jurnal ilmiah
- g. buku

4.1 Wahana Penyampaian Karya Tulis

4.1.1 Bersifat publik : majalah, surat kabar, tabloid, buku

Wahana publik adalah wahana yang dipublikasikan secara terbuka kepada masyarakat oleh penerbit publik. Penyebarannya luas ditoko-toko dan perpustakaan. Pada wahana umum seperti majalah tempo, gatra, swasembada dll, biasanya ada ruang khusus artikel iptek. Artikel pada majalah ini disampaikan dengan bahasa yang populer. Pada wahana yang mengambil segmen tertentu, seperti makalah konstruksi di industri konstruksi, info komputer di industri komputer dll, lingkup atikel lebih terfokus, pembahasannya lebih dalam, dan dapat menggunakan bahasa khas bidang tersebut.

Buku adalah wahana publik yang segmenya terbatas. Bahasanya sangat terfokus dan mendalam pada suatu permasalahan dibidang tertentu. Jika dilihat dari komposisi materi dan pengarang, jenis buku dapat dibagi menjadi dua golongan besar. Golongan pertama adalah buku yang materinya disusun secara integritasi oleh seoran/kelompok penulis, contoh : *Pretressed Concrete Structure* karangan TY Lin dan ned Burns, yang membahas secara khusus salah satu aspek dari teknologi beton, yang merupakan salah satu dari rekayasa sipil. Golongan kedua adalah buku yang materinya disusun secara paralel dan independen oleh beberapa penulis, namun ada benang merah yang menyatukan materi - materi tersebut. Rangkaian materi itu disusun oleh tim penynting. Contoh : *Tren Teknik Sipil Era Milenium baru*, yang tersusun dari rangkaian tulisan independent dari pakar rekayasa sipil, yang benang merahnya adalah visi rekayasa sipil dimasa depan. Tim penyunting buku ini adalah Jonbi.

Jika dilihat dari sifat materinya, buku dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu buku teks (text book) dan buku opini (argumentasi). Buku teks berisikan hal - hal mendasar atau lanjut yang telah diakui kebenarannya oleh lingkungan bidang tersebut. Buku opini bersifat kebalikan , penulis biasanya mengajukan opini bertujuan untuk mempengaruhi lingkungan bidang tersebut.

4.1.2 Bersifat terbatas : laporan, prosiding, jurnal, akademik

Karya tulis ini diterbitkan dilingkungan terbatas, sehingga tidak akan ditemui di toko atau perpustakaan umum. Karya tulis ini diterbitkan dan disimpan dilembaga penerbitnya. Para peminat harus menghubungi lembaga yang bersangkutan jika ingin mendapatkan karya tulis tersebut.

Laporan adalah karya tulis yang disusun setelah diadakannya kegiatan tertentu. Contoh : *Perilaku Histeresis titik kumpul Exterior JHS Column Slab System*, yang diterbitkan Pusat litbang Permukiman PU sebagai laporan kegiatan penelitian selama 3 tahun. Contoh lain adalah laporan - laporan perencanaan bangunan sipil. Laporan bersifat sangat detail, meliputi data - data mentah, pengolahan, sampai pada kesimpulan. Bentuk laporan secara fisik biasanya sangat tebal, bahkan dapat terbagi menjadi beberapa volume. Sifat karya ini merupakan *pemaparan hasil - hasil dasar* dari suatu kegiatan dan keaktualannya sama dengan waktu kegiatan.

Pada kegiatan umum yang bersifat profesional, panitia akan mengumumkan kegiatan beberapa waktu sebelumnya, agar para penulis makalah mengajukan abstrak tulisan (*call for papers*). Abstrak tersebut diseleksi oleh komite yang dibentuk panitia, lalu para penulis yang dinilai layak, diminta memasukkan makalahnya. Beberapa penulis diberi kesempatan mempresentasikan dan mendiskusikan makalahnya pada kegiatan tersebut. Pada diskusi dapat berkembang tanggapan berupa koreksi, sanggahan, saran dan sebagainya dari para peserta. Prosiding diterbitkan panitia setelah kegiatan berlangsung. Proses *call for papers* sampai terbitnya prosiding biasanya memakan waktu minimal satu tahun, jadi keaktualannya adalah waktu kegiatan dilakukan ditambah $\pm 1 - 2$ tahun.

Jurnal adalah majalah yang khusus membahas kegiatan, penelitian, dan pengembangan pada suatu bidang tertentu. Jurnal dianggap sebagai wahana penulisan aktual yang paling tinggi kualitasnya, karena proses seleksinya teliti, seksama, dan komprehensif. Jurnal diterbitkan secara reguler oleh suatu badan independen yang berkompeten dibidang tersebut. Contoh : PCI Journal, yang membahas struktur prategang/pracetak beton dengan lingkup internasional, Jurnal permukiman, yang diterbitkan pusat Litbang Permukiman untuk berbagai kegiatan yang dilakukan oleh peneliti di lembaga tersebut. Makalah yang diterbitkan di jurnal umumnya mempunyai pengaruh yang menentukan dalam perkembangan bidang tersebut.

Materi makalah merupakan *telaahan yang mendalam* tentang suatu permasalahan di bidang yang bersangkutan. Para penulis dapat langsung mengirim makalah ke badan penerbit, lalu makalah tersebut dinilai oleh suatu tim yang terdiri dari pakar - pakar dibidang tersebut. Pada seleksi awal, ditentukan makalah - makalah yang layak terbit. Jika suatu makalah telah terpilih, maka dilakukan korespondensi antara penulis dan penilai untuk penyempurnaan makalah sebelum diterbitkan. Proses ini dapat memakan waktu 2 - 3 tahun. Jika makalah telah diterbitkan, maka ada tenggang waktu ± 6 bulan bagi para pembaca untuk menanggapi makalah tersebut.

Karya tulis akademik adalah karya yang dihasilkan pada proses formal akademik diperguruan tinggi. Karya ini dibuat oleh mahasiswa, dengan bimbingan dari tim dosen. Karya - karya ini diterbitkan oleh perguruan tinggi

yang bersangkutan, dan disimpan dalam perpustakaan internal. Para peminat karya ini, harus mendatangi perguruan tinggi tersebut.

4.1.3 Wahana Elektronik

Pada abad 21 ini lahir suatu wahana tulis lain, yaitu wahana elektronik. Wahana ini merubah tatanan yang berumur ratusan tahun. Jika orang telah dapat mengakses wahana ini, maka tidak ada lagi batasan - batasan. Laporan, prosiding, dan jurnal sudah menjadi wahana "publik" didunia ini. Orang dapat mudah mencari tulisan yang ia inginkan melalui bebrapa portal yang ada, lalu mengaksesnya jika situs terbuka umum, atau mendownload dengan membayar tertentu.

5 Klasifikasi Karya Tulis

Karya tulis dapat diklasifikasikan berdasarkan materinya sebagai karya tulis biasa, karya tulis berdasarkan penelitian, dan karya tulis akademik.

5.1 Karya Tulis Biasa

Karya tulis ini dilakukan *tanpa melakukan suatu penelitian khusus* yang mendukung tulisan tersebut. Sifat tulisan dapat berupa narasi, deksripsi, eksposisi, dan argumentasi. Jika tulisan disampaikan pada majalah, surat kabar, tabloid, atau jurnal, biasanya disebut "artikel". Karya tulis ini biasanya sederhana dan mudah proses poenulisannya.

Narasi adalah tulisan yang menuturkan urutan (kronologis) suatu kejadian tanpa memberi komentar atau telaahan lanjut pada kejadian tersebut. Tujuan utama adalah hanya memberikan informasi kegiatan pada pembaca. Contoh : *structural and seismic Codes Update*, (PCI Journal, Jan 1999).

Deksripsi adalah sifat tulisan yang menggambarkan secara fisik suatu kegiatan, tanpa memberi komentar atau telaahan lanjut. Tujuan utama adalah membawa pembaca pada situasi fisik kegiatan. Contoh : *Precast Concrete Modules Speed School Construction*.(PCI Journal, Juni 2000).

Eksposisi atau pemaparan adalah tulisan yang memberikan penjelasan tentang suatu kegiatan, tanpa memberi suatu proses pengambilan kesimpulan yang sifatnya penafsiran. Contoh : *Dinding Penahan Segmental dengan Tanah Diperkuat Geosintetik*. (Tren Teknik Sipil Era Milenium Baru, 2000). Buku teks adalah salah satu contoh karya tulis yang bersifat eksposisi.

Argumentasi adalah tulisan yang mengkaji suatu permasalahan, dengan melakukan studi pustaka, analisis dengan data sekunder, dan pengambilan kesimpulan berdasarkan hal - hal tersebut. Contoh : *Inovasi Teknologi dalam Industri Teknik Sipil*, Seminar UPI - YAI.

5.2 Karya Tulis Berdasarkan Penelitian

Karya tulis ini disusun berdasarkan kegiatan penelitian ilmiah utama yang khusus dibuat untuk menunjang karya tulis tersebut. Proses kegiatan direncanakan secara sistematis dengan menggunakan metodologi penelitian. Kegiatan ini sudah memerlukan pengorganisasian khusus, yang membawa konsekuensi biaya relatif besar. Penelitian model ini dilakukan atau disponsori oleh suatu lembaga penelitian, perusahaan, lembaga swadaya masyarakat, negara, atau lembaga internasional.

Skema alternatif beberapa proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penelitian individu : dilakukan dan dikoordinasikan oleh individu. Contoh : Leonardo da Vinci (orang yang tercatat mendapat paten pertama), Thomas Alva Edison, Sedyatmo, JH Simanjuntak.
2. Penelitian perusahaan : dilakukan oleh perusahaan untuk mendukung pengembangan produk. Contoh : perusahaan farmasi, komputer, dll.
3. Penelitian dalam lembaga penelitian dengan sumber dana sendiri, misalnya Lembaga Ilmu pengetahuan Indonesia (LIPI), Lembaga Penelitian Perguruan Tinggi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Departemen Pemerintah.
4. Penelitian dalam lembaga penelitian dengan sumber dana dari luar. Contoh : BPPT dan Ditjen Dikti menyediakan dana bagi lembaga penelitian perguruan tinggi LSM (Program Riset Unggulan Trepadu (RUT), Program Hibah bersaing, dll.
5. Penelitian strategis : riset nuklir oleh BATAN, riset luar angkasa luar oleh NASA
6. Kerjasama penelitian : perusahaan - perguruan tinggi, penelitian internasional AS & Rusia mengenai angkasa luar, penelitian internasional tentang AIDS, Penelitian sistem pracetak Tahan Gempa (PRESSS).

Diseminasi penelitian dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah penerbitan laporan - laporan penelitian yang menyajikan bahan dasar hasil penelitian. Pada tahap kedua bahan - bahan ini dikaji lebih dalam, lalu dituliskan dalam makalah, yang disampaikan dan didiskusikan mulai dari tahap internal sampai ke eksternal (seminar, prosiding, jurnal, dll). Penulisan secara populer dapat dilakukan secara paralel, berupa artikel dimajalah dan jurnal. Pengaruh dari penelitian diuji oleh publik. Jika pengaruhnya sangat besar, maka topik itu dapat dijadikan salah satu pustaka kebenaran ilmiah, dan dapat ditulis pada tahap terakhir, yaitu dalam buku teks. Contoh : Proses penelitian struktur beton tahan gempa (20 tahun).

5.3 Karya Tulis Akademik

Karya tulis akademik adalah karya tulis berdasarkan penelitian ilmiah khusus yang poembuatannya dibawah proses pendidikan formal lembaga perguruan tinggi. Tugas kuliah adalah karya tulis akademik yang paling sederhana, karena lingkup penelitian dibatasi materi kuliah yang bersangkutan. Tingkat yang lebih tinggi adalah laporan praktikum, diaman mahasiswa harus melakukan suatu kegiatan penelitian fisik yang terprogram pada skala laboratorium, lalu membuat laporan tertulis. Tingkat yang lebih tinggi adalah laporan kerja praktek, dimana mahasiswa secara formal melakukan studi banding tentang hal - hal yang diperoleh selama kuliah dengan kenyataan dilapangan, dalam waktu relatif panjang.

Pada tahap akhir tingkat sarjana (S1), mahasiswa diminta membuat karya tulis wajib, yang disebut skripsi. Karya tulis ini harus dilakukan melalui proses penelitian. Mahasiswa harus mampu merencanakan, melaksanakan, dan menulis karya tulis penelitian berdasarkan pengetahuan yang diperolehnya selama masa studi. Topik skripsi dipilih dengan konsultasi dari tim dosen pembimbing, sesuai dengan kemampuan teknik, dana, dan waktu yang tersedia (biasanya 6 bulan - 1 tahun). Cara penelitian yang dipilih biasanya tidak terlalu rumit. Pada proses pembuatan dan penulisan, supervisi yang insentif diberikan oleh pembimbing mengingat pentingnya proses ini dalam pembentukan karakter ilmiah calon sarjana. Pada tahap akhir, skripsi mahasiswa diuji oleh tim pembimbing dan penguji untuk menentukan kelulusannya.

Pada tahap akhir tingkat program magister (S2), mahasiswa diminta membuat karya tulis wajib, yang disebut tesis. Karya tulis ini harus dilakukan melalui proses penelitian, dengan materi dan cara penelitian yang lebih dalam dibanding skripsi. Topik dipilih dengan konsultasi dari tim dosen pembimbing, sesuai dengan kemampuan teknis, dana, dan waktu yang tersedia (biasanya 6 bulan - 1 tahun). Cara penelitian biasanya sudah melibatkan penelitian laboratorium atau studi lapangan yang lebih rumit. Pada proses pembuatan dan penulisan, mahasiswa sudah diberi kebebasan yang lebih besar dibanding tahap sarjana. Proses ini dimaksudkan untuk mempersiapkan mahasiswa untuk memasuki studi tahap doktor. Pada tahap akhir, skripsi mahasiswa diuji oleh tim pembimbing dan penguji untuk menentukan kelulusannya.

Pada tahap akhir tingkat program doktor (S3), mahasiswa diminta membuat karya tulis wajib, yang disebut disertasi. Karya tulis ini harus dilakukan melalui proses penelitian, dengan materi dan cara penelitian yang lebih dalam untuk menghasilkan sesuatu hal yang baru dalam bidang penelitian tersebut. Topik dipilih dengan konsultasi dari tim pembimbing. Mahasiswa harus mampu secara mandiri mengelola seluruh aspek penelitian (termasuk peralatan dan dana yang dibutuhkan). Cara peneltian harus memenuhi seluruh standart dalam bidang tersebut, misalnya penelitian dilaboratorium, studi lapangan, dan studi numerik.

Waktu penelitian minimal 3 tahun, mengingat dalamnya materi yang dibahas. Pada proses pembuatan dan penulisan, hubungan mahasiswa dan pembimbing lebih merupakan partner sejajar. Mahasiswa lebih banyak mengambil inisiatif, sedangkan pembimbing memberi masukan dan arahan. Pada tahap akhir mahasiswa harus mempertahankan disertasinya dihadapan tim pembimbing, tim penguji internal, dan tim penguji luar, dan sidang terbuka. Proses ini dimaksudkan untuk mempersiapkan seorang peneliti mandiri.

6. Sistematika Umum Penulisan

Jika hasil penelitian disajikan dalam bentuk laporan (termasuk skripsi, tesis, disertasi), penulisan dapat dibagi menjadi tiga bagian : bagian pembukaan, batang, tubuh, dan bagian tambahan. Isi dari masing - masing bagian adalah :

I. Bagian Pembukaan

1. Judul
2. Kata pengantar
3. ucapan terima kasih
4. daftar isi
5. daftar tabel
6. daftar gambar
7. daftar lampiran

II. Bagian Utama

I. Pendahuluan

- a. latar belakang
- b. tujuan penelitian
- c. ruang lingkup penelitian
- d. perumusan permasalahan
- e. hipotesis
- f. cara pendekatan, adat yang dibutuhkan, dan metoda penelitian yang digunakan
- g. garis besar pelaksanaan penelitian
- h. penyelesaian permasalahan
- i. implikasi dari penelitian

II. Batang Tubuh

- a. studi pustaka
- b. persiapan penelitian
- c. pelaksanaan penelitian
- d. penyajian data

e. analisis data

III. Penutup

- a. rangkuman
- b. kesimpulan
- c. saran

III. Bagian Tambahan

1. lampiran
2. daftar pustaka
3. indeks

Jika hasil penelitian disajikan dalam bentuk artikel atau makalah, rangkaian tulisan mencakup judul, abstrak, lalu langsung masuk ke bagian utama. Ucapan terima kasih, daftar pustaka, dan lampiran diletakkan setelah penutup.

7. Format Penulisan Karya Tulis yang Dikutip Sebagai Referensi

Studi pustaka adalah suatu ciri dari penelitian. Pengambilan referensi dan kutipan harus dinyatakan dengan jelas. Pada bagian daftar pustaka, dicantumkan seluruh pustaka yang digunakan, yang diurutkan sesuai nama keluarga pengarang utamanya. Nomor urut ini yang dicantumkan pada bagian utama tulisan dengan kurung siku [], jika pustaka yang bersangkutan dipakai untuk mendukung tulisan.

Contoh format penulisan sesuai dengan jenis karya tulis adalah sebagai berikut :

1. Ang,A.H.S, W.H. Tang (1984), *Probability Concepts in Engineering, Planning and Design*, John Wiley & Sons, New York, 100
2. Kahn, L.F, A. Saber (2000), *Analysis and Structural benefits of High Performance Conceret of Pretensioned Bridge Girders*, *PCI Journal*, Vol 45, no.4, 104 - 106
3. Katili, I., H.Juda (2000), *Implementasi estimator error Z² pada elemen pelat DKMQ*, *Proceedings of the 2000 FTUI Seminar Quality in Research, jakarta, Indonesia*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, I-6-5-3.
4. Nurjaman, H.N.(1998),*Penentuan Model Perencanaan Sistem Bangunan Pracetak Penuh berdasarkan Uji Laboratorium*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 20-37.
5. Purba, A(2000), *Cermaton, Teknologi terkini diatas tanah lunak*, *Majalah Konstruksi*, 290, 20-21

6. Simanjuntak, J.H, R.Suhud, B. Hariandja, I. Imran, H.N. Nurjaman (2001), Sistem pracetak beton di Indonesia, dalam *Trend Teknik Sipil Era Milenium Baru*, Jonbi, Editor, Yayasan John Hi-Tech Idetama – UI Press, Jakarta, 369 – 382.

Format (1) adalah unuk buku tesk, (2) makalah pada jurnal, (3) makalah pada prosiding, (4) karya tulis akademik, (5) artikel pada majalah, (6) buku yang tiap bab ditulis oleh orang yang berlainan.

BAB IV PENELITIAN KUANTITATIF DAN KUALITATIF

1. Umum

Penelitian dapat menggunakan metoda kuantitatif dan kualitatif. Metoda kuantitatif umumnya terkait dengan ilmu alam, sedangkan metoda kualitatif terkait dengan ilmu sosial. Penelitian teknik sipil umumnya bersifat kuantitatif. Pada tulisan ini dibahas deskripsi dan contoh baik penilaian kuantitatif maupun kualitatif. Ciri - ciri penelitian kuantitatif dan kualitatif lalu dikupas, beserta contoh - contoh nyata.

2. Penilaian Kualitatif dan Kuantitatif

Penilaian kuantitatif adalah penilaian yang dinyatakan dengan kuantitas (angka/nilai). Contoh paling nyata misalnya dalam olah raga lari, dimana penilaiannya adalah waktu tempuh. Contoh dibidang teknik sipil misalnya penilaian efisiensi lentur penampang beton prategang, yang dinyatakan dengan faktor α (aswad) dan ρ (guyon) seperti terlihat pada tabel 1.

Penilaian kualitatif dinyatakan dengan pernyataan kata - kata atau gambar seperti : deskripsi, kategori, baik, buruk, cukup, besar, kecil, sebanding, sejenis, lebih dari, kurang dari, terbaik, terjelek dan lain - lain. Contoh dibidang olah raga misalnya permainan silat, dimana pemenangnya ditentukan juri secara kualitatif. Contoh dibidang teknik sipil misalnya penilaian kualitatif sifat penampang seperti terlihat pada tabel 2.

Penilaian kualitatif memang sering bersifat subyektif, maka pada beberapa penerapan sistem skoring. Contoh dibidang olah raga adalah tinju profesional. Penilaian dilakukan oleh tiga orang hakim, dimana tiap hakim menilai di tiap ronde siapa petinju yang lebih unggul. Petinju yang unggul diberi nilai 10 dan lawannya 9. jika petinju jatuh atau melanggar peraturan, maka nilainya dipotong satu. Seorang petinju dinyatakan menang, jika dimenangkan oleh minimal dua juri. Penilaian kualitatif seperti ini sering disebut sebagai penilaian obyektif terhadap kenyataan subyektif.

Pada bidang teknik sipil, metoda kualitatif ini sering digunakan dalam "value engineering". Usaha pemecahan masalah dilakukan dengan mencari beberapa alternatif, dan menilai kelayakan alternatif tersebut terhadap persyaratan yang diberikan. Penilaian dinyatakan dalam sistem skor, misalnya angka dari 1 - 9, dimana angka yang lebih besar menyatakan tingkat kesesuaian yang lebih baik terhadap persyaratan. Contoh penilaian berbagai metoda perbaikan jalan diatas tanah gambut dipropinsi Kalimantan tengah, seperti terlihat pada tabel 5.

Tabel 1. Efisiensi Lentur Penampang

Bentang	Balok Y				Balok Super Y				Balok I			
	Tipe	Tinggi (cm)	ρ	α	Tipe	Tinggi (cm)	ρ	α	Tipe	Tinggi (cm)	ρ	α
11-15 m	Y1	70	0.315	0.694								
13-17 m	Y2	80	0.345	0.748								
15-19 m	Y3	90	0.369	0.785								
17-21 m	Y4	100	0.388	0.805								
19-23 m	Y5	110	0.401	0.812					Tipe 1	130	0.323	0.576
21-25 m	Y6	120	0.410	0.810	SY1	150	0.404	0.839	Tipe 2	145	0.327	0.584
25-29 m	Y7	130	0.390	0.751	SY2	160	0.401	0.823	Tipe 3	160	0.356	0.649
27-31 m	Y8	140	0.418	0.786	SY3	170	0.410	0.833	Tipe 4	175	0.356	0.646
31-35 m					SY4	180	0.410	0.825	Tipe 5	190	0.367	0.692
33-37 m					SY5	190	0.410	0.817	Tipe 6	205	0.493	0.923
37-41 m					SY6	200	0.384	0.760	Tipe 7	220	0.494	0.926

Tabel 2. Penilaian kualitatif sifat penampang.

Aspek	Penampang Balok			
	I	M	U	Y
1. Kekakuan Torsi	Kurang	Sedang	Baik	Baik
2. Stabilitas Lateral	Kurang	Kurang	Baik	Baik
3. Penempatan Kabel	Sulit	Sulit	Sulit	Mudah
4. Efisiensi Lentur	Baik	Kurang	Baik	Kurang
5. Tinggi Penampang	tinggi	Rendah	Sedang	Sedang
6. Biaya Pembuatan	Sedang	Sedang	Mahal	Sedang
7. Pemeliharaan	Mudah	Sulit	Sulit	Mudah
8. Produksi Massal	Kurang	Sedang	Kurang	Baik
9. Estetika	Kurang	kurang	baik	Baik

3. Penelitian Kuantitatif

Penelitian kuantitatif menggunakan teknik kuantitatif dalam penelitiannya. Jika ditinjau dari sifat variabel yang ditinjau, ada dapat bersifat deterministik atau bersifat stokastik.

Tujuan utamanya adalah pembuktian suatu hipotesis tentang fenomena yang diteliti, sehingga fenomena tersebut nantinya dapat dapat diprediksi atau bahkan dikontrol.

Kriteria kualitasnya penelitiannya dikenal dengan "rigor" (validitas, realibilitas, obyektif). Validitas (jitu atau sah) berarti data - data tersebut

diperoleh dari instrumen yang baik dan tepat (contoh : load cell pengukur beban harus terkalibrasi, dan sesuai rentangnya dengan pengujian). Reliabilitas (ajeg) berarti hasil penelitian harus tetap sama, jika dilakukan berulang - ulang pada kondisi yang sama. Obyketif (terbuka) artinya jika dilakukan dengan alat apapun, tidak mempengaruhi objek penelitian. Kriteria rigor ini menyebabkan penelitian kuantitatif mempunyai kapabilitas untuk proses generalisasi.

Sumber penelitian biasanya berupa hipotesis yang bersifat apriori (deduktif). Hipotesis inilah yang menjadi dasar penelitian, setelah dilakukan peninjauan pustaka. Kesimpulan utama penelitian adalah terbukti atau tidaknya hipotesis tersebut. Pendirian penelitian umumnya reduksionis, yaitu sedapat mungkin hanya membahasa hal - hal yang dominan dalam fenomena tersebut (contoh : hukum newton $F = ma$)

Instrumen penelitian biasanya berupa alat - alat fisik seperti pengukur, perekam, kertas grafik dll. Cara pengumpulan data direncanakan dengan baik sebelum penelitian dilakukan. Perencanaan tahap penelitian adalah pasti (contoh penelitian kapasitas tiang pancang).

Gaya penelitian biasanya adalah intervensi (contoh : peneltian kapasitas tiang pancang terhadap berbagai moda pembebanan dilakukan secara independen ; aksial sendiri, tarik sendiri dan lateral sendiri. Pada kenyataannya pembebanan adalah inter mode). Latar dari penelitian umumnya dilaboratorium (kondisi ideal) dan stabil. Satuan kajian adalah variabel. Variabel biasa digunakan dalam fenomena deterministik, dan variabel acak dalam fenomena stokastik.

Contoh penelitian kuantitaif yang bersifat deterministik adalah penelitian daya dukung tiang. Penelitian beton ringan, penilaian mutu beton dalam proyek, dan penelusuran banjir adalah contoh penelitian fenomena stokastik.

4. Penelitian Kualitatif

Penelitian ini menggunakan teknik kualitatif dalam pelaksanaannya. Tujuan utama adalah penyusunan suatu konsep atau teori baru mengenai suatu fenomena secara interaktif antara subyek dan peneliti (contoh penentuan preferensi manusia dari Myers - Briggs).

Kriteria kualitas penelitian ini adalah relevansi yaitu signifikandari pribadi terhadap lingkungan yang sebenar - benarnya. Kriteria "rigor" sulit diterapkan pada manusia. Sifat penelitian adalah "bottom up" (induktif), dimana tidak diharuskan adanya hipotesis yang kaku diawal penelitian. Hipotesis disempurnakan terus menerus berdasarkan data - data pengujian (contoh hipotesis dan teori jung).

Pendirian penelitian ini adalah ekspansionis dan holistik. Manusia mempunyaia karakter multidimensi, dimana sulit dicari faktor dominan yang ajeg. Perilaku manusia juga harus dilihat secara utuh (holistik), dimana adalah tidak mungkin meneliti satu aspek saja, dan meniadakan aspek lainnya. Instrumen peneliti adalah manusia (peneliti dan subyek), karena hnaya manusialah yang dapat memahami manusia lain.

Cara pengumpulan data dan tahap penelitian tidak harus direncanakan secara kaku sebelum penelitian dilakukan. Hal itu mengadopsi bervariasinya perilaku

manusia dan masyarakatnya. (contoh penelitian dilakukan pada masyarakat terasing). Cara dan tahap penelitian dapat disesuaikan pada pelaksanaan penelitian.

Gaya penelitian adalah seleksi. Data - data berupa naskah wawancara, catatan lapangan, foto, video, dokumen pribadi, dokumen resmi, catatan, atau memo, diolah, diseleksi, dan dikategorisasikan secara holistik. Latar penelitian adalah alam (sesuai dengan kondisi asli). Perlakuan justru mencari perbedaan, yang disusun menjadi satuan kajian yang berupa pola - pola (contoh pola referensi manusia dalam tabel 3).

Penggunaan penelitian kualitatif dalam teknik sipil, biasa dilakukan jika situasi sosial, budaya, dan lingkungan tempat penelitian cukup signifikan dalam pengambilan keputusan. Contoh hasil penelitian kualitatif murni yang disajikan adalah penelitian penanganan jalan diatas tanah lunak gambut di Kalimantan tengah. Kesimpulan kualitatif dapat dilihat pada tabel 4, dan sistem skor untuk arahan pengambilan keputusan dapat dilihat tabel 5.

Keilmiahan metoda kualitatif sering dipertanyakan karena tiga alasan utama : tidak rigor, subyektif dan hipotesis yang dapat "dinegosiasikan" dengan subyek. Pada awalnya pendukung fanatik metoda ini bertahan dengan konsep murni dengan alasan manusia memang sulit dikuantifikasi, subyektif, dan tidak dapat digeneralisasikan. Pada perkembangan selanjutnya, para peneliti kualitatif juga mulai mengadopsi beberapa teknik kuantitatif untuk mendukung sifat rigor data.

5. Pemilihan Metoda

Pendekatan metoda kuantitatif dan kualitatif adalah bertolak belakang, sehingga umumnya salah satu metoda harus dipilih sebagai dasar. Jika ada beberapa aspek yang belum memuaskan, maka metoda yang lain dapat dipilih secara selektif, namun dalam kerangka metoda yang dipilih tersebut. Penelitian metoda penentuan preferensi manusia pada dasarnya adalah metoda kualitatif, namun pada perkembangannya banyak kritik keras terhadap rigor data. Hal ini mendorong pencetus ide ini untuk melengkapi beberapa aspek dengan metoda statistik.

Tabel 3. Hasil Penelitian kualitatif preferensi manusia Myers - Briggs

Extraverting (E) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (I) (Introverrrting)
Sensing (S) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (N) Intuiting
Thincking (T) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (F) Feeling
Judging (J) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (P) Perceiving

	E/I	S/N	T/F	J/P
Tipe pilihan Pribadi				
Tipe indikator				
Yang paling sesuai				

Tabel 4. Hasil penelitian kualitatif penanganan jalan diatas tanah lunak gambut di Kalimantan Tengah

	Timbunan biasa	Timbunan + cerucuk kayu	Vertical drain	Timbunan + cermaton	Pile slab
1. Aspek teknis	- paling jelek (tinggi kritis kecil, penurunan besar dan tidak rata)	- kurang baik (lebih dari timbunan biasa, namun tinggi kritis tidak terlalu besar, penurunan masih besar karena panjang cerucuk kayu terbatas)	- metoda ini terbukti baik ditanah lempung, namun belum ada referensi untuk tanah gambut.	- baik (performa sistem dapat dikontrol dengan panjang cerucuk)	- pling baik (Zero settlement)
2. Aspek pelaksanaan	- mudah dan relatif cepat	- mudah dan relatif cepat (namun lebih lambat dari timbunan biasa)	- mudah namun lama (perlu waktu untuk menghabiskan proses konsolidasi tanah)	- mudah dan relatif cepat (hampir sama dengan timbunan + cerucuk kayu)	Butuh alat - alat berat, namun relatif cepat

BAB IV
PENELITIAN KUANTITAI & KUALITATIF

3. Aspek pemeliharaan	- buruk (perlu perawatan kontinu)	- kurang baik (kayu dapat lapuk dan mudah terbakar)	- baik	- Cukup baik (penurunan cukup kecil sehingga bisa dikonversikan dengan penambahan tinggi di awal)	Baik (pemeliharaan terbatas pada lapisan permukaan)
4. Sumber material	- seluruhnya lokal	- seluruhnya lokal	- bahan vertical drain impor	- sebagian besar lokal	Sebagian besar dari luar pulau, bahkan komponen prategang adalah impor
5. Aspek harga	- paling murah	- murah (lebih mahal dari timbunan biasa)	- Cukup (lebih mahal dari cerucuk kayu)	- Cukup mahal	- paling mahal
6. Aspek lingkungan	- baik	- buruk (material kayu sekarang dianggap tidak ramah lingkungan)	- baik	- baik	Cukup baik rongga dibawah jembtana bisa menimbulkan masalah sosial

Tabel 5. Sistem skoring untuk panduan pengambilan keputusan

	Timbunan biasa	Timbunan + cerucuk kayu	Vertikal drain	Timbunan + cermaton	Pile slab
1. Aspek teknis	1	3	1	7	9
2. Aspek pelaksanaan	7	6	3	6	8
3. Aspek pemeliharaan	1	3	6	7	9
4. Sumber material	8	8	5	5	3
5. Aspek harga	8	7	6	4	1
6. Aspek lingkungan	7	3	7	7	5
Total	32	30	28	36	35

Skor 1 - 9 ; makin besar menunjukkan makin baik

BAB V PENYUSUNAN PROPOSAL & LAPORAN PENELITIAN

1. Pemilihan Topik Penelitian

Pemilihan topik penelitian untuk tesis terkadang menjadi momok para mahasiswa tingkat akhir. Pada segmen ini dibahas mengenai hal – hala yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan topik penelitian, dan tips bagi mahasiswa agar pada nantinya dapat mencari ide untuk topik penelitian.

1.1. Hal – Hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan topik

Hal – hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan topik :

1. Managabel topik : topik tersebut harus dapat dijangkau dan dikuasai penelitiannya.
 - a. Apakah latar belakang pengetahuan, kecakapan, dan kemampuan peneliti sudah cukup untuk memecahkan persoalan – persoalan yang berhubungan dengan topik yang dikerjakan?
 - b. Apakah waktu dan dana dapat tersedian dan mencukupi ?
 - c. Apakah topik tersebut dapat memperoleh konsultan/pembimbing yang cocok dan handal?
 - d. Apakah tidak ada hambatan dari pihak – pihak lain berkenaan dengan topik tersebut.
2. Obtainable data : bahan – bahan atau data telah tersedia atau mungkin untuk didapat secukupnya selama penelitian
 - a. apakah data – data referensi tersedia dan mungkin untuk didapatkan?
 - b. apakah metoda dan alat – alat pencarian data mungkin untuk dilaksanakan atau didapat sesuai dengan dana dan waktu yang tersedia?
3. Significance of topic ; topik tersebut harus penting untuk diteliti
 - a. apakah topik itu memberi sumbangsih pada biodang yang dipelajari?, jangan hanya duplikasi atau pengecekan ulang dari peneliti lain
 - b. apakah topik itu dapat memberi kegunaan prkatis bagi masyarakat?
4. Interested topic : topik tersebut harus menarik untuk diteliti dan dikaji, terutama agi peneliti sendiri. Hal ini akan sangat mendukung semangat

peneliti dalam melakukan penelitian dan mendiseminasikannya pada masyarakat.

Pada akhirnya terlaksana atau tidaknya topik penelitian tersebut sangat tergantung dari skema penelitian itu sendiri. Jika peneliti bersifat pribadi, maka dia bebas untuk mengatur segala hal sendiri. Jika penelitian dilakukan perusahaan, tentunya aspek signifikansi menjadi penentu utama bagi dewan direksi. Jika penelitian disponsori oleh lembaga tertentu, maka dewan penilai akan menseleksi proposal penelitian berdasarkan kriteria lembaga tersebut. Jika penelitian bersifat akademik, maka proposal penelitian akan dikaji untuk disetujui oleh tim dosen pendamping.

1.3. Pengembangan problematik untuk mencari ide topik penelitian

Beberapa usaha yang harus dilakukan peneliti agar ide - ide penelitian dapat selalu diperoleh :

1. Membina dan mengembangkan diri dibidang spesialisasinya. Hal ini dapat dilakukan dengan membaca dan mendalami penelitian - penelitian yang telah diselesaikan, sehingga dapat memperoleh gambaran mengenai problem yang belum terpecahkan atau dapat dikembangkan lebih lanjut. Beberapa tips yang dapat dicatat :
 - a. Membaca dengan cermat untuk mendata kekurangan dalam tiap uraian
 - b. Perhatikan jika ada uraian yang saling bertentangan
 - c. Telitilah problema menarik yang timbul dalam tata kerja
 - d. Catat referensi yang digunakan
2. Gemar dan tekun membaca buku - buku yang relevan, dan mengembangkan sifat skeptis
3. Rajin mencari bahan - bahan hasil penelitian mutakhir sebagai sumber ide topik :
 - a. Laporan penelitian dan paper (diprosiding atau jurnal), selalu mengemukakan implikasi penelitian pada akhir tulisan.
 - b. Pengamatan lapangan : menangkap gejala - gejala yang timbul dimasyarakat
 - c. Diskusi, seminar, ceramah, kuliah
 - d. Para pakar, dosen dan peneliti.

2. Dasar Pelaksanaan Penelitian : Postulat dan Hipotesis

Jika topik penelitian telah ditentukan, maka studi pustaka mutlak dilakukan dalam penelitian ilmiah. Studi ini menghasilkan dua hal yang mendasari

pelaksanaan penelitian, yaitu postulat dan hipotesis. Pada segmen ini dibahas definisi, panduan penentuan, dan contoh - contoh dari penelitian yang pernah dilakukan

2.1 Postulat

Postulat didefinisikan sebagai landasan pikiran yang digunakan dalam pengembangan penelitian ilmiah. Postulat dapat berupa suatu fakta atau kebenaran ilmiah (hukum, teori, tesis) yang terkait dengan topik penelitian. Penentuan postulat sangat mempengaruhi kualitas rigor (validitas, reliabilitas, obyektifitas) penelitian.

Contoh :

No.	Penelitian	Postulat
1	Y girder	Teori beton bertulang
2	Estimator Error Z^2	Teori error dalam analisis numerik
3	Pasir giling	Fakta deskripsi pasir giling Tesis dari Arab Saudi, Turki, dan Argentina
4	Formula feret untuk bahan beton jabotabek	Teori feret : kuat tekan beton ditentukan terutama oleh w/c dengan hubungan terbalik kuadrat
5	Kelongsoran rel ciganea	Fakta adanya kelongsoran Teori stabilitas lereng
6	Preferensi manusia	Teori Jung
7	Jalan diatas tanah gambut di Kalimantan tengah	Teori mekanika tanah dan hidrologi Fakta permasalahan lingkungan dan sumber material

3. Hipotesis

Jika studi pustaka telah menghasilkan postulat yang relevan dengan topik, maka hipotesis yang menjadi titik awal penelitian dapat dinyatakan. Hipotesis berasal dari kata "hipo" yang berarti "lemah", dan "tesis" yang berarti suatu proposisi atau pernyataan. Jadi hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya, dan masih perlu dibuktikan kebenarannya dalam penelitian. Hipotesis disebut juga jawaban sementara terhadap permasalahan penelitian, sebagai rangkuman kesimpulan teoritik yang diperoleh dari studi kepustakaan.

Panduan dalam menyusun hipotesis antara lain :

1. Dinyatakan dengan kalimat deklaratif (pernyataan)
2. Dapat berupa deklarasi hubungan antara dua variabel atau lebih
3. Dirumuskan dengan jelas dan padat
4. Dimungkinkan untuk diuji oleh semua orang

Pada tahap inilah pemilihan metoda penelitian (kualitatif dan kuantitatif) harus dilakukan, sifat hipotesis dalam penelitian kuantitatif dan kualitatif adalah

sangat berbeda. Pada penelitian kuantitatif hipotesis harus dengan jelas dinyatakan pada awal penelitian, dan tidak boleh dirubah selama penelitian. Jika penelitian menunjukkan hipotesis terbukti benar, maka hipotesis berubah menjadi tesis. Jika penelitian menunjukkan hipotesis tidak terbukti, maka hipotesis tersebut dinyatakan salah dan harus dibuat hipotesis baru dan penelitian baru. Pada penelitian kuantitatif hipotesis tidak harus terdefinisi secara tegas diawal penelitian, tapi dapat disesuaikan selama proses penelitian.

Pada penelitian yang bersifat rekayasa, hipotesis dapat diekuivalenkan sebagai konsep - konsep pemecahan masalah (dapat lebih dari satu item). Kriteria - kriteria yang digunakan untuk menilai konsep juga harus dinyatakan. Pelaksanaan penelitian diarahkan pada analisis tiap konsep pemecahan berdasarkan kriteria yang ditetapkan, serta perbandingan antar konsep yang memenuhi kriteria. Hasil akhir penelitian rekayasa adalah konsep terbaik yang dipilih untuk memecahkan permasalahan.

Penelitian no. 1 s/d 5 adalah penelitian kuantitatif. Pernyataan hipotesis yang baik berupa deklarasi jelas dapat dibaca. Pada penelitian no.2, hipotesis berupa deklarasi hubungan yaitu antara kekuatan tekan dan w/c menurut Formula Feret diklaim berlaku untuk bahan beton di jabotabek. Pada penelitian no.5 sifatnya adalah rekayasa dimana diajukan berbagai konsep penyelesaian masalah.

Penelitian no. 6 s/d 7 adalah penelitian kualitatif. Pada penelitian no. 6 Myers - Briggs menggunakan teori Jung tentang preferensi manusia sebagai dasar penyusunan hipotesis (3 aspek preferensi). Pada pelaksanaan penelitiannya, Myers Briggs menemukan satu aspek lain, sehingga dalam penelitian akhirnya terdapat 4 aspek preferensi manusia. Pada penelitian no. 7 hipotesis awal hanya menyangkut aspek teknis dan harga, namun dalam perkembangan penelitian, disepakati beberapa aspek lain seperti lingkungan dan sumber material menjadi aspek yang harus dipertimbangkan.

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian berdasarkan hipotesis meliputi penentuan variabel atau pola penyelesaian, memilih alat pengumpulan data, menyusun rancangan penelitian, menentukan sampel, penyajian data, serta pengolahan, analisis dan interpretasi data. Pada segment ini dibahas panduan pelaksanaan item - item penelitian serta contoh - contoh dari penelitian yang pernah dilakukan

3.2 Penentuan variabel dalam metoda kuantitatif

Implementasi dari usaha pembuktian hipotesis dalam metoda kuantitatif adalah pendefinisian variabel sebagai satuan kajian penelitian. Variabel adalah faktor - faktor yang berperan dalam fenomena yang diteliti. Variabel ini dimanipulasi, dikontrol, dan diobservasi dalam penelitian dalam rangka pembuktian hipotesis.

Jumlah variabel pada dasarnya tergantung dari tingkat kompleksitas penelitian. Penelitian yang sederhana menghasilkan jumlah variabel yang sedikit dan sebaliknya. Beberapa jenis variabel yang dikenal dalam penelitian adalah :

a. Variabel bebas (independent variabel)

Variabel yang dimanipulasi dalam rangka menerangkan dengan fenomena yang diobservasi. Variabel ini disebut juga dengan variabel pengaruh, karena berfungsi mempengaruhi variabel lain (secara bebas mempengaruhi variabel lain)

b. Variabel tergantung (Dependent variabel)

Variabel yang berubah akibat dari perubahan variabel bebas. Variabel ini disebut juga dengan variabel terpengaruhi

c. Variabel penghubung (intervening variabel)

Variabel yang berfungsi menghubungkan variabel satu dengan variabel lain.

d. Variabel moderator (moderator variabel)

Variabel yang karena fungsinya ikut mempengaruhi variabel tergantung, serta memperjelas hubungan bebas dengan variabel tergantung.

e. Variabel kendali (Control variabel)

Variabel yang membatasi atau mewarnai variabel moderatoe, sehingga berpengaruh juga terhadap variabel tergantung.

f. Variabel Rambang (Insignificant variabel)

Variabel yang fungsinya dapat diabaikan atau kecil pengaruhnya terhadap variabel bebas atau tergantung.

Pada penelitian kuantitatif, umumnya terlibat minimal dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel tergantung. Pada contoh penelitian 1 s/d 5 pengelompokan variabel adalah

No.	Penelitian	Variabel bebas	Variabel tergantung	Variabel lain
1	Y Girder	Beban (P)	Perpindahan (Δ)	
2	Estimator Error Z^2	Jumlah elemen (NEL)	Kesalahan relatif energi global Distribusi error norma energi Indeks penghalusan elemen	
3	Pasir giling	Kandungan pasir giling	Kuat tarik tak langsung Kuat tarik lentur	Kuat tekan - variabel moderator Umur dan metoda curing -

				variabel kendali
4	Formula Feret untuk bahan beton Jabotabek	w/c dan s/c	Kuat tekan mortar (Rc) Kuat tekan beton (R)	Konstanta beton (kg) - variabel intervening
5	Kelongsoran rel cigania	Alternatif penanganan	Angka keamanan (SF)	

3.3. Penentuan pola penyelesaian dalam metoda kualitatif

Pada penelitian kualitatif, satuan kajian biasanya digambarkan dengan pola - pola untuk mendeskripsikan fenomena secara holistik. Satuan kajian katagori dan bidang tinjauan.

Pada penelitian no. 6, preferensi manusia dibagi menjadi 4 katagori yaitu : sumber energi, cara memperoleh informasi, cara pengambilan keputusan, dan cara berhubungan dengan dunia luar. Pada tiap katagori, bidang tinjauan dibagi menjadi dua kutub ekstim dengan deksripsinya masing - masing. Kombinasi dari katagori dan bidang tinjauan menghasilkan 16 pola referensi manusia dengan deksripsinya masing - masing.

Pada penelitian no.7, alternatif penyelesaian dibagi menjadi 5 katagori (timbunan biasa, timbunan +cerucuk kayu, vertikal drain, timbunan + cermaton, pile slab). Bidang tinjauan dalam hal ini dibagi menjadi 6 tinjauan (teknis, pelaksanaan, pemeliharaan, harga, sumber material, lingkungan). Deksripsi pola penyelesaian dapat dilihat pada kotak kombinasi katagori dan bidang tinjauan.

3.4. Pemilihan alat pengumpulan data

Pada penelitian kuantitatif, alat pengumpulan data (observasi) adalah instrumen. Instrumen yang digunakan pada penelitian haruslah baik dan tepat, sehingga data yang dihasil terjamin validitasnya. Pada contoh penelitian no. 1 s/d 5, instrumen yang digunakan adalah seperti terlihat pada tabel.

Pada penelitian kualitatif, instrumen utama adalah manusia. Pada penelitian no. 6, Myers - Briggs menggunakan wawancara dan angkt pada sejumlah responden untuk mendapatkan pola - pola preferensi manusia. Pada penelitian no.6, dilibatkan banyak pihak dalam penelitian. Konsultan pertama - tama mengajukan beberapa alternatif utama, lalu dilakukan diskusi dengan seluruh pihak terkait untuk memperoleh suatu pola penyelesaian lalu tersusun, dengan deksripsi pola yang tersusun dari seleksi masukan pihak - pihak yang berkompeten. Konsultan menangani aspek teknis, kontraktor lokal menangani aspek pemeliharaan, pelaksanaan dan harga, dan pihak muspida menangani masalah sumber material dan lingkungan.

No.	Penelitian	Instrumen utama
1	Y Girder	Load cell, transducer, data logger, komputer perekam
2	Estimator Error Z^2	Analisis numerik elemen hingga & program ANSYS

3	Pasir giling	Amsler model 200D79 : Uji tarik tak langsung Mohr & Federhaff AG type UPD 10 : Uji tarik lentur
4	Formula Feret untuk bahan beton Jabotabek	Mesin kuat tekan beon
5	Kelongsoran rel cigania	Analisis numerik elemen hingga plaxis 7.20

3.5. Menyusun rancangan penelitian

Rancangan penelitian adalah rangkaian satuan kegiatan yang harus dilakukan dalam rangka pengolahan variabel/pola untuk mencapai tujuan penelitian. Rancangan ini harus sistematis, logis, dan implementatif. Satuan kegiatan tersebut harus dijabarkan dengan jelas (masukan yang dibutuhkan, metoda pelaksanaan dan peralatan, dan keluaran yang dihasilkan), agar dapat operasional dilapangan. Rancangan penelitian ini sering juga digambarkan dengan diagram alir.

3.6. Penentuan Sampel

Sampel adalah sebagian dari subyek/obyek yang diselidiki dari keseluruhan populasi penelitian. Sampel yang baik adalah sampel representatif, yaitu menggambarkan kondisi populasi secara optimal, namun bukan merupakan duplikat dari populasi. Masalah pengambilan sampel muncul jika peneliti dengan alasan tertentu (waktu, dana, peralatan) ingin menyelidiki sebagian saja dari populasi penelitian, lalu melakukan generalisasi terhadap populasi berdasarkan penelitian terhadap sampel.

Pada penelitian kuantitatif, sifat dari fenomena yang diteliti sangat mempengaruhi penentuan sampel, jika fenomena bersifat deterministik, maka ada dua pilihan yang bisa dilakukan : penelitian skala penuh (uji prototipe) dan penelitian skala miniatur (uji model). Pada penelitian skala penuh, benda uji cukup 1 buah, dengan sensor pengamatan secukupnya. Data - data pengamatan dapat langsung dipakai. Penelitian no. 1 Y girder adalah contoh kasus ini. Pada penelitian skala model, biasanya benda uji juga cukup 1 buah, namun diperlukan teori model untuk mentransfer data - data model sebelum diolah dalam dimensi aslinya. Penelitian bangunan dalam terowongan angin dan uji hidrolis bendungan dalam laboratorium hidrolika adalah contoh kasus penelitian jenis ini.

Pada fenomena yang bersifat stokastik, penentuan sampel jelas harus dilakukan. Aturan umum yang mengatur besar/kecilnya jumlah sampel memang tidak ada, namun biasanya pada bidang - bidang tertentu (misalnya pengambilan sampel uji mutu beton) ada aturan khusus yang berlaku. Seyogyanya memang, jumlah sampel yang lebih banyak akan lebih baik. Teknik pengambilan sampel untuk metoda kuantitatif adalah teknik acak.

Pada penelitian kualitatif, tujuan pengambilan sampel adalah mendapatkan sebanyak mungkin informasi dari berbagai macam sumber yang akan menjadi dasar dari rancangan dan teori yang akan disusun. Teknik pengambilan sampel dikenal dengan sampel bertujuan. Jumlah sampel tidak perlu ditentukan dengan

tegas pada awal penelitian, melainkan (1) dapat ditentukan secara berurutan sesuai pelaksanaan satuan kegiatan penelitian, (2) berdasarkan fokus penelitian, (3) berdasarkan pengulangan informasi.

3.7. Penyajian data

Penyajian data kuantitatif dapat berupa tabel, grafik, dan gambar. Penyajian berupa tabel biasanya diperuntukan untuk data mentah. Grafik adalah penyajian data yang telah diolah dalam rupa kurva, barthart, pie, dll. Grafik menyatakan hubungan antar variabel penelitian. Skala normal dan logaritmis. Gambar merupakan penyajian data yang langsung dapat ditafsirkan oleh indera penglihatan. Gambar dapat dinyatakan dalam model dua dimensi atau tiga dimensi. Pola keruntuhan lereng hasil analisis PLAXIS pada penelitian no. 5 (kelongsoran rel ciganea), adalah salah satu contoh penyajian data berupa gambar.

Penyajian data dalam penelitian kualitatif berupa kata - kata hasil pengamatan, wawancara, dan angkt, foto, film/video, sumber tertulis, dan terkadang analisis statistik. Data - data tersebut diperiksa dulu keabsahannya melalui empat kriteria : kepercayaan (kredibilitas), keteralihan (transferability), kebergantungan (dependability, dan kepastian (confirmability).

3.8. Pengolahan, analisis dan interpretasi data

Pada tahap ini, dilakukan proses yang mengarah pada pengambilan keputusan yang terkait dengan tujuan penelitian. Pada metoda kuantitatif dengan fenomena deterministik, beberapa varian penting dalam pengambilan keputusan adalah :

1. Pengambilan keputusan dengan ukuran suatu variabel memenuhi persyaratan tertentu (contoh ; angka keamanan > 1 untuk analisis stabilitas lereng)
2. Pengambilan keputusan berdasarkan optimasi dari satu atau dua variabel, dalam ruang solusi tertentu. Jika variabel tunggal, maka digunakan rumusan kalkulus ekstrim. Jiks melibatkan banyak variabel namun bersifat linear, maka digunakan program linear (misalnya metoda simpleks. jika melibatkan variabel yang non linear, maka digunakan program non linear.
3. hubungan antar dua variabel. Dua hal utama dalam kasus ini adalah penentuan ada tidaknya hubungan, dan jika terbukti ada hubungan, bagaimana merumuskan hubungan tersebut. Regresi linear adalah metoda yang paling populer (formula feret untuk bahan beton jabotabek), dimana dapat diselidiki derajat keterkaitan linear dari dua variabel \. Jika indikasi keterkaitannya besar, maka diperoleh variabel intervening. Penentuan bentuk hubungan dua variabel ada yang berbentuk curve fitting, dan ada yang berbentuk fungsi inetrpolasi.
4. Hubungan antar lebih dari dua variabel. Pada grafik dua dimensi, dengan masing - masing variabel pada dua sumbunya, ada seri grafik berdasarkan variabel ketiga. Contoh respon spektra gempa.

5. Interpretasi gambar : bidang longsor, konsentrasi tegangan, pola deformasi (penentuan bidang longsor dari gambar pengamatan (inklinometer).

Pada fenomena stokastik, beberapa varian pengambilan keputusan antara lain :

1. Pengambilan keputusan berdasarkan syarat tingkat kehandalan tertentu pada variabel acak.
2. Estimasi/peramalan berdasarkan periode ulang dan tingkat kehandalan tertentu dari suatu variabel acak.

Pada metoda kualitatif, proses pengolahan data yang dilalui untuk menghasilkan pola - pola penyelesaian adalah

1. Pemrosesan satuan
2. Katagorisasi
3. Penafsiran data : analisis komparatif dalam rangka penyusunan teori

Pengambilan keputusan dalam metoda kualitatif dapat dilakukan dengan kesepakatan tim peneliti. Sistem skoring adalah suatu alternatif pengambilan keputusan dalam metoda ini. (contoh : 93 pertanyaan pada metoda Myers - Briggs dalam penentuan preferensi manusia).

4. Proposal Penelitian

Proposal penelitian adalah suatu berkas yang harus disiapkan sebelum pelaksanaan penelitian. Proposal ini diajukan dewan penilai, untuk dipelajari dan dinilai kelayakannya sesuai dengan standar yang disepakati. Item - item dalam usulan penelitian sejalan dengan langkah - langkah penelitian (minus data, interpretasi dan kesimpulan, serta implikasi), dengan tambahan ietm non teknis yang penting, yaitu rancangan skedul pelaksanaan dan estimasi biaya.

4.1. Proposal Penelitian Metoda Kuantitatif

Item - item dalam proposal metoda kuantitatif adalah :

- I. Pendahuluan
- II. Tujuan Penelitian
- III. Ruang lingkup dan obyek penelitian
- IV. Perumusan masalah
- V. Postulat
- VI. Hipotesis
- VII. Prosedur Penelitian
- VIII. Pokok - pokok masalah
- IX. Tahap - tahap Pelaksanaan
- X. Estimasi Biaya

Daftar Pustaka

4.2. Proposal Penelitian Metoda Kualitatif

Item – item dalam proposal metoda kualitatif adalah :

- I. Pendahuluan : Latar belakang
- II. Perumusan masalah dan tujuan penelitian : pembahasan studi, kepustakaan, paradigma dan teori substantif yang membimbing studi
- III. Metodologi penelitian : deksripsi latar, sumber data, satuan kajian, entry, tahap – tahap penelitian, teknik penelitian, perencanaan pengumpulan dan pencatatan data, perencanaan analisis dan penafsiran data
- IV. Perencanaan Logistik penelitian
- V. Perencanaan pemeriksaan keabsahan data
- VI. Jadwal pelaksanaan
- VII. Estimasi biaya

Daftar pustaka.

5. Laporan Penelitian

Jika hasil penelitian disajikan dalam bentuk laporan (termasuk skripsi, tesis, disertasi), penulisan dapat dibagi menjadi tiga bagian : bagian pembukaan, batang, tubuh, dan bagian tambahan. Isi dari masing – masing bagian adalah :

I. Bagian Pembukaan

1. Judul
2. Kata pengantar
3. ucapan terima kasih
4. daftar isi
5. daftar tabel
6. daftar gambar
7. daftar lampiran

II. Bagian Utama

- I. Pendahuluan
 - a. latar belakang
 - b. tujuan penelitian
 - c. ruang lingkup penelitian
 - d. perumusan permasalahan
 - e. hipotesis
 - f. cara pendekatan, adat yang dibutuhkan, dan metoda penelitian yang digunakan
 - g. garis besar pelaksanaan penelitian
 - h. penyelesaian permasalahan

- i. implikasi darai penelitian

- II. Batang Tubuh
 - a. studi pustaka
 - b. persiapan penelitian
 - c. pelaksanaan penelitian
 - d. penyajian data
 - e. analisis data

- III. Penutup
 - a. rangkuman
 - b. kesimpulan
 - c. saran

III. Bagian Tambahan

- 1. lampiran
- 2. daftar pustaka
- 3. indeks

Jika hasil penelitian disajikan dalam bentuk artikel atau makalah, rangkaian tulisan mencakup judul, abstrak, lalu langsung masuk ke bagian utama. Ucapan terima kasih, daftar pustaka, dan lampiran diletakkan setelah penutup.

BAB VI TEORI STATISTIK

1. Pengertian Fenomena Random

Secara formal suatu fenomena disebut deterministik jika dapat dinyatakan dalam variabel hanya terdiri dari satu besaran saja, sedangkan fenomena random dinyatakan dalam satu set besaran dengan frekuensi kemunculan masing-masing besaran.

Variabel yang bersifat deterministik umumnya ada pada tataran teoritis. Pada tataran analisis yang menggunakan pengambilan data secara fisik, secara umum keseluruhannya bersifat random hanya saja tingkatannya berbeda pada tiap kasus. Pengukuran dimensi, waktu, gerakan, deformasi, suhu dan lain-lain yang menggunakan alat selalu ada faktor yang dinamakan galat (error) dari alat ukur, sehingga sering ditangani secara statistik, namun derajatnya kecil sehingga terkadang juga dikategorikan variabel deterministik.

Contoh 1 : Suatu stopwatch yang digunakan untuk mengukur lomba lari 100 m mempunyai ketelitian sampai 1/100 detik. Seorang pelari yang diukur hasilnya menunjukkan waktu $t = 10.51$ detik (deterministik). Jika fenomena ini dinyatakan sebagai besaran statistik, maka sesuai dengan ketelitian alat harus ditulis sebagai $t = 10.51 \pm 0.005$ detik

Fenomena random terdapat misalnya pada sifat material yang heterogen (seperti beton, batuan, tanah), dan sifat-sifat manusia. Fenomena ini memerlukan pendekatan statistik untuk menyatakan fenomena tersebut.

Contoh 2 : Suatu bangunan yang direncanakan mempunyai mutu beton $f_c' = 30$ MPa. Dalam rangka membuat percobaan campuran (*trial mix*), dibuat 30 sampel silinder untuk dites tekan ,untuk mengecek kehandalan kekuatan campuran . Hasil dari ke 30 pengujian tersebut terlihat pada Tabel 6.1 sebagai berikut.

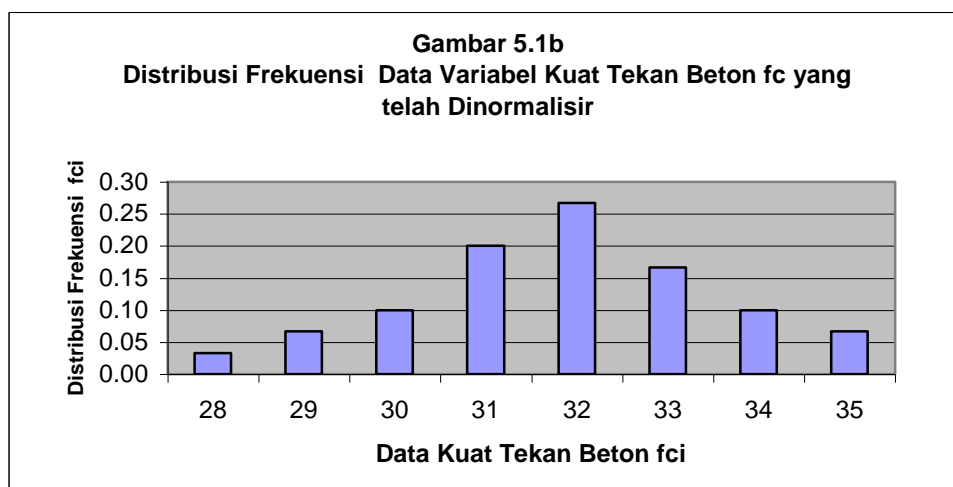
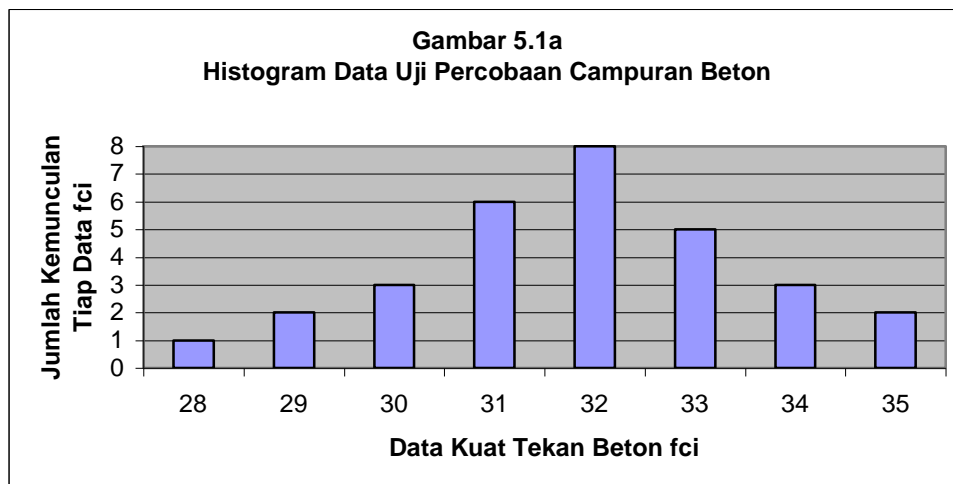
Tabel 6.1 Data Kuat Tekan Beton

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_c (MPa)	31	30	35	32	32	31	34	34	33	33
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f_c (MPa)	29	30	31	33	30	29	33	33	34	32
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f_c (MPa)	28	29	33	32	31	35	32	32	33	31

Dari data pengukuran terlihat jelas sifat fenomena yang random. Fenomena seperti ini membutuhkan pendekatan statistik dalam analisis data. Pada kasus ini kuat tekan beton dinyatakan sebagai variabel random f_c dengan data-data frekuensi kemunculan tiap data dan frekuensi kemunculan yang dinormalisir (distribusi frekuensi) $P_{f_c}(f_{c_i}) = P(f_c = f_{c_i})$. Salah satu cara mendeskripsikan fenomena ini adalah melalui tabel atau histogram seperti terlihat pada Tabel 6.2 dan Gambar 6.1

Tabel 6.2 Frekuensi Kemunculan Data

Rank	Data f_c (Mpa)	Frekuensi Kemunculan	$P_{f_c}(f_{c_i})$
1	28	1	0.033
2	29	2	0.067
3	30	3	0.100
4	31	6	0.200
5	32	8	0.267
6	33	5	0.167
7	34	3	0.100
8	35	2	0.067
		30	1.000



Jika fenomena random akan dianalisis lebih lanjut, maka diperlukan parameter-parameter statistik yang secara umum menggambarkan sifat fenomena random tersebut. Bab ini pertama-tama akan membahas pengertian parameter-parameter tersebut secara umum, lalu dilanjutkan dengan perumusan formalnya. Perumusan formal pertama-tama dilakukan pada fenomena random dengan 1 variabel baik distribusi frekuensinya diskrit maupun kontinu, selanjutnya lalu perumusan untuk 2 variabel dan multivariabel. Pada akhir bab, dipaparkan operasi yang umum dilakukan antar variabel random seperti penjumlahan, perkalian dan operasi fungsi.

2. Analisis Diskrit Fenomena Random

Analisis fenomena random dari data diskrit adalah analisis paling dasar yang harus dipahami sebelum untuk melangkah ke analisis lanjut.

2.1 Parameter Umum

Parameter statistik secara umum berfungsi untuk memberi gambaran sifat fenomena random. Sekelompok parameter menjelaskan harga terpenting yang mewakili keseluruhan data fenomena random tersebut dengan masing-masing norma sebagai berikut.

- a. nilai **rata-rata (mean)** didefinisikan sebagai penjumlahan seluruh data dibagi jumlah data. Data ini merupakan salah satu dari dua data terpenting dalam parameter statistik (selain deviasi standar). Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , nilai rata-rata adalah $\bar{f}_c = 31.867 \text{ MPa}$
- b. nilai **modus** didefinisikan sebagai nilai dari data yang frekuensi kemunculannya tertinggi. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , nilai modus adalah $\check{f}_c = 32 \text{ MPa}$
- c. nilai **median** didefinisikan sebagai nilai yang membagi dua jumlah distribusi secara sama besar. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , dengan jumlah data 30, akan ada suatu nilai f_{ci} yang jumlah kemunculan data dibawah dan diatasnya sama-sama 15. Nilai ini terletak antara $f_c = 31 \text{ MPa}$ dan $f_c = 32 \text{ MPa}$

Sekelompok parameter yang mendeskripsikan rentang data yaitu

- a. nilai maksimum, didefinisikan sebagai data maksimum dari keseluruhan data. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , nilai maksimum adalah $\text{MAX}(f_c) = 35 \text{ MPa}$
- b. nilai minimum, didefinisikan sebagai data minimum dari keseluruhan data. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , nilai minimum adalah $\text{MIN}(f_c) = 28 \text{ MPa}$

- c. nilai rentang data (*range*) didefinisikan sebagai selisih data maksimum terhadap data minimum dari keseluruhan data. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , nilai rentang data adalah $\text{Range}(f_c) = 7 \text{ MPa}$.

Sekelompok parameter yang mendeskripsikan penyebaran data terhadap nilai rata-rata yaitu :

- a. Variansi (*Variance*), didefinisikan sebagai rata-rata jumlah kuadrat dari selisih masing-masing data terhadap nilai rata-rata. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.3. nilai variansi adalah $\text{Var}(f_c) = 2.916 \text{ MPa}$
- b. Deviasi standar (*Standard Deviation*) didefinisikan sebagai akar dari variansi. Makna dari parameter ini adalah rata-rata mutlak sebaran data terhadap nilai rata-rata. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.3. nilai deviasi standar (f_c) = 1.707 MPa . Parameter deviasi standar dan nilai rata-rata merupakan dua parameter terpenting dalam statistik. Secara umum suatu variabel random dinyatakan dalam dua parameter ini. Pada kasus kuat tekan beton dengan data pada Tabel 6.1, dinyatakan sebagai

$$f_c = 31.867 \pm 1.707 \text{ MPa}$$

- c. Koefisien Variansi (*Coefficient of Variance - COV*) didefinisikan sebagai perbandingan antara deviasi standar dan nilai rata-rata. Parameter ini nondimensional yang bermakna sebagai tingkat kerandoman variabel. Makin besar parameter ini, maka makin besar sifat random variabel tersebut dan sebaliknya. Sebagian penulisan variabel random menggunakan nilai rata-rata dan nilai koefisien variansi. Pada contoh 2, variabel kuat tekan beton f_c , yang perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.3. nilai $\text{COV}(f_c) = 0.054$ atau 5.4% . Penulisan variabel random menjadi

$$f_c = [31.867, 5.4\%] \text{ MPa}$$

Tabel 6.3 Perhitungan Parameter Sebaran Data Terhadap Nilai Rata-Rata

Rank	Data fc (Mpa)	fci - fc rata2	(fci- fc rata2)^2	Frekuensi Kemunculan	(fci- fc rata2)^2* frekuensi kemunculan
1	28	-3.867	14.951	1	14.951
2	29	-2.867	8.218	2	16.436
3	30	-1.867	3.484	3	10.453
4	31	-0.867	0.751	6	4.507
5	32	0.133	0.018	7	0.124
6	33	1.133	1.284	6	7.707
7	34	2.133	4.551	3	13.653
8	35	3.133	9.818	2	19.636
			Jumlah	30	87.467
fc rata-rata	31.867				
Varians fc	2.916				
standar deviasi fc	1.707				
Koefisien Variansi fc	0.054				

2.2 Perumusan Formal Analisis Diskrit Fenomena Random

Secara formal matematis, parameter-parameter tersebut dinyatakan dalam rumusan-rumusan sebagai berikut: Probability Mass Function (PMF), nilai rata-rata (mean)/expected value, ekspektasi dari fungsi random, modus, median, variansi, koefisien variansi, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemiringan.

- a. Frekuensi distribusi yang telah dinormalisasi dinyatakan dalam suatu fungsi diskrit yang disebut *Probability Mass Function (PMF)*

$$P_x(x_i) = P(X = x_i) \tag{6.1}$$

Pada kasus variabel kuat tekan beton fc di contoh 2, bentuk fungsi ini adalah histogram pada Gambar 6.1b

- b. Nilai rata-rata (mean value)/Nilai ekpektasi (expected value) dirumuskan sebagai

$$\mu_x = E(X) = \sum_{x_i} x_i P_x(x_i) \tag{6.2a}$$

- c. Nilai ekpektasi dari fungsi dari variabel random g(x) didefinisikan sebagai

$$E(g(X)) = \sum_{x_i} g(x_i) P_x(x_i) \tag{6.3a}$$

- d. Modus dirumuskan sebagai

$$\tilde{x} \Big| P_x(\tilde{x})_{maks} \tag{6.4a}$$

- e. Median dirumuskan sebagai

$$x_m | F_x(x_m) = 0.5 \quad (6.5a)$$

dimana $F_x(X)$ adalah kumulatif dari frekuensi distribusi suatu variabel random (*Cumulative Distribution Function - CDF*) yang akan dibahas dalam Teori Probabilitas.

- f. Variansi dirumuskan sebagai

$$\text{Var}(x) = \sum_{x_i} (x_i - \mu_x)^2 P_x(x_i) \quad (6.6a)$$

- g. Standar Deviasi dirumuskan sebagai

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)} \quad (6.7)$$

atau

$$\sigma_x^2 = \text{Var}(X)$$

- h. Koefisien variansi dirumuskan sebagai

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (6.8)$$

- i. Koefisien kecondongan (*skewness coefficient*) dirumuskan sebagai

$$\theta_x = \frac{E((x - \mu_x)^3)}{\sigma_x^3} = \frac{\sum_{x_i} (x_i - \mu_x)^3 P_x(x_i)}{\sigma_x^3} \quad (6.9a)$$

Parameter ini akan lebih terasa maknanya dalam variabel random yang dinyatakan dalam distribusi frekuensi kontinu.

Sebagai contoh, jika fenomena random kuat tekan beton f_c pada contoh 2 dalam Tabel 6.1 ingin dirumuskan parameter statistiknya secara formal, maka perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.4

Tabel 6.4 Perhitungan Parameter Statistik Kuat Tekan Beton f_c secara Formal

Rank	f_{ci} MPa	$P_{fc}(f_{ci})$	$f_{ci} P_{fc}(f_{ci})$	$f_{ci} - \mu_{fc}$	$(f_{ci} - \mu_{fc})^2$	$(f_{ci} - \mu_{fc})^2$ * $P_{fc}(f_{ci})$
1	28	0.033	0.933	-3.867	14.951	0.498
2	29	0.067	1.933	-2.867	8.218	0.548
3	30	0.100	3.000	-1.867	3.484	0.348
4	31	0.200	6.200	-0.867	0.751	0.150
5	32	0.233	7.467	0.133	0.018	0.004
6	33	0.200	6.600	1.133	1.284	0.257
7	34	0.100	3.400	2.133	4.551	0.455
8	35	0.067	2.333	3.133	9.818	0.655
		$\mu_{fc} =$	31.867 MPa	$Var(f_c) =$	2.916	
		$\sigma_{fc} =$	1.707 MPa			
		$\delta_{fc} =$	0.054	atau	5.4%	

3. Analisis Kontinu Fenomena Random

3.1 Probality Density Function (PDF),

Suatu bentuk generalisasi dari fungsi distribusi yang bersifat deskrit (yang dinyatakan dalam PMF) adalah fungsi distribusi kontinu, yang dikenal dengan *Probability Density Function (PDF)*. Generalisasi ini telah diteliti pada banyak fenomena random, dengan hasil yang sangat memuaskan. Secara teoritis telah dipostulatkan bahwa tiap fenomena random mempunyai suatu PDF tertentu, sehingga seluruh analisis dapat dilakukan secara general.

Penelitian yang dilakukan terhadap berbagai fenomena random menghasilkan beberapa tipe PDF standard. Adalah penting untuk mempelajari tipe-tipe ini, karena formulasi fenomena random secara matematis akan memudahkan kita melakukan analisis terhadap fenomena random.

3.2 Berbagai Tipe PDF

Berbagai jenis distribusi beserta parameter statistik yang diperlukan untuk menyatakannya dapat dilihat pada Tabel 6.5. Pada tulisan ini dibahas beberapa contoh untuk memberi gambaran, yaitu distribusi seragam, distribusi normal, distribusi lognormal, dan distribusi eksponensial.

Tabel 6.5 Berbagai Distribusi Frekuensi Kontinu dan Parameternya

Table 5.1. Common Distributions and Their Parameters

Distribution	Probability density function (PDF) or mass function (PMF)	Parameters	Relation to Mean and Variance
Binomial	$p_X(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$ $x = 0, 1, 2, \dots, n$	p	$E(X) = np$ $\text{Var}(X) = np(1-p)$
Geometric	$p_X(x) = p(1-p)^{x-1}$ $x = 0, 1, 2, \dots$	p	$E(X) = 1/p$ $\text{Var}(X) = (1-p)/p^2$
Poisson	$p_X(x) = \frac{(\nu t)^x}{x!} e^{-\nu t}$ $x = 0, 1, 2, \dots$	ν	$E(X) = \nu t$ $\text{Var}(X) = \nu t$
Exponential	$f_X(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x \geq 0$	λ	$E(X) = 1/\lambda$ $\text{Var}(X) = 1/\lambda^2$
Gamma	$f_X(x) = \frac{\nu(\nu x)^{k-1} e^{-\nu x}}{\Gamma(k)} \quad x \geq 0$	ν, k	$E(X) = k/\nu$ $\text{Var}(X) = k/\nu^2$
Normal (Gaussian)	$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]$ $-\infty < x < \infty$	μ, σ	$E(X) = \mu$ $\text{Var}(X) = \sigma^2$

Tabel 6.5 Berbagai Distribusi Frekuensi Kontinu dan Parameternya

Lognormal	$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right]$ $x \geq 0$	λ, ζ	$E(X) = \exp \left(\lambda + \frac{1}{2} \zeta^2 \right)$ $\text{Var}(X) = E^2(X) [e^{\zeta^2} - 1]$
Rayleigh	$f_X(x) = \frac{x}{\alpha^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^2 \right]$ $x \geq 0$	α	$E(X) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \alpha$ $\text{Var}(X) = \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) \alpha^2$
Uniform	$f_X(x) = \frac{1}{b - a}$ $a < x < b$	a, b	$E(X) = (a + b)/2$ $\text{Var}(X) = \frac{1}{12} (b - a)^2$
Triangular	$f_X(x) = \frac{2}{b - a} \left(\frac{x - a}{u - a} \right)$ $= \frac{2}{b - a} \left(\frac{b - x}{b - u} \right)$ $a \leq x \leq u$ $u \leq x \leq b$	a, b, u	$E(X) = \frac{1}{3} (a + b + u)$ $\text{Var}(X) = \frac{1}{18} (a^2 + b^2 + u^2 - ab - au - bu)$
Beta	$f_X(x) = \frac{1}{B(q, r)} \frac{(x - a)^{q-1} (b - x)^{r-1}}{(b - a)^{q+r-1}}$ $a \leq x \leq b$	a, b, q, r	$E(X) = a + \frac{q}{q + r} (b - a)$ $\text{Var}(X) = \frac{qr}{(q + r)^2 (q + r + 1)} (b - a)^2$

3.2.1 Distribusi seragam

Distribusi seragam mempunyai formulasi matematis PDF sebagai berikut:

$$f_X(x) = c; \quad a \leq x \leq b \quad (6.10)$$

dengan bentuk grafik PDF seperti terlihat pada Gambar 6.2. Contoh terbaik fenomena ini adalah lemparan dadu, yang tiap angka mempunyai frekuensi kemunculan yang seragam

ANALYTICAL MODELS OF RANDOM PHENOMENA

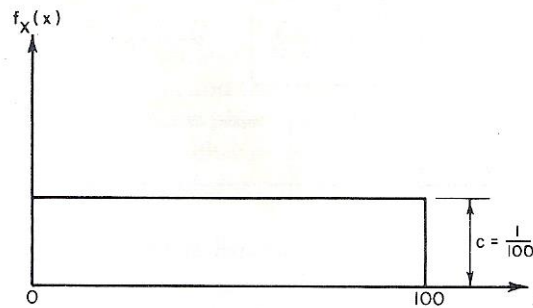


Figure E3.2a PDF of X

Gambar 6.2 PDF Distribusi Seragam

3.2.2. Distribusi normal

Distribusi normal mempunyai formulasi matematis PDF sebagai berikut:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right]; \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (6.11a)$$

dengan bentuk grafik PDF seperti terlihat pada Gambar 6.3. Distribusi ini boleh dikatakan distribusi yang paling banyak digunakan, karena sebagian besar fenomena random mengikuti distribusi ini.

Jika pada contoh 2 dicobakan distribusi normal untuk memodelkan fenomena random kuat tekan beton f_c secara kontinu, maka perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.6, dan perbandingan PDF dan PMF dapat dilihat pada Gambar 6.4.

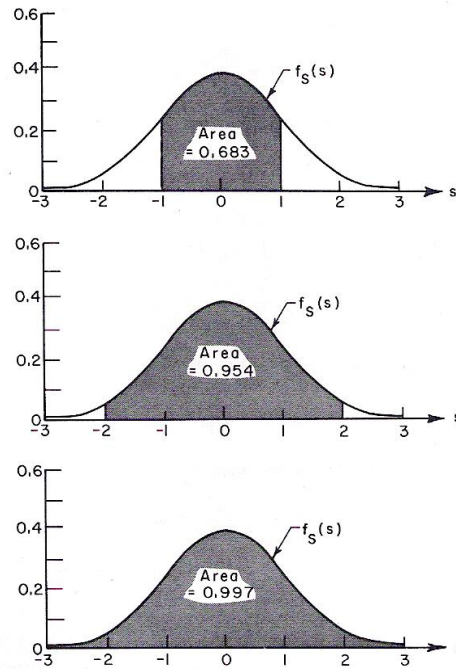
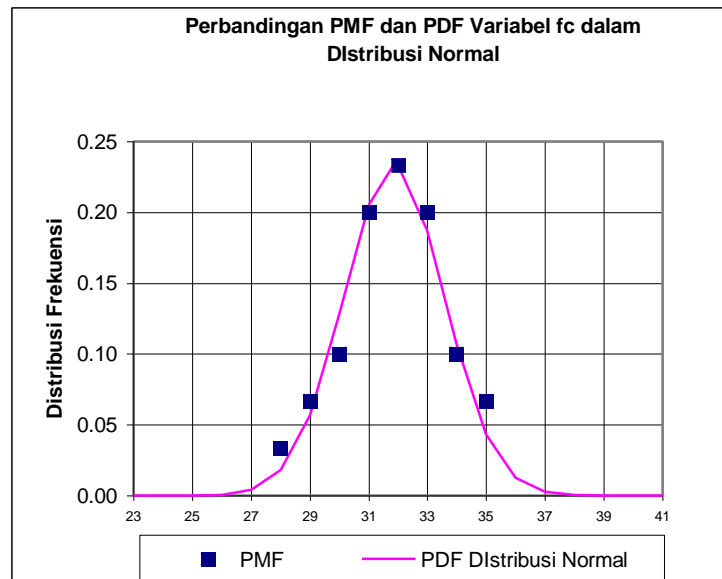


Figure 3.5 Density functions of the standard normal distribution

Gambar 6.3 PDF Distribusi Normal

Tabel 6.6 Model Kontinu Distribusi Frekuensi Variabel f_c .

Rank Data	f_{ci} MPa	PMF $P_{fc}(f_{ci})$	PDF $f_{fc}(f_c)$
	23		0.000000
	24		0.000006
	25		0.000072
	26		0.000638
	27		0.004023
1	28	0.033333	0.017989
2	29	0.066667	0.057082
3	30	0.100000	0.128539
4	31	0.200000	0.205404
	31.8667		0.233642
5	32	0.233333	0.232931
6	33	0.200000	0.187451
7	34	0.100000	0.107051
8	35	0.066667	0.043385
	36		0.012477
	37		0.002547
	38		0.000369
	39		0.000038
	40		0.000003
	41		0.000000
		$\mu_{fc} =$	31.867
		$\sigma_{fc} =$	1.707
		$\delta_{fc} =$	0.054



Gambar 6.4 Perbandingan Model Diskrit dan Model Kontinu Variabel f_c

Bentuk Distribusi Normal lain yang sering digunakan adalah distribusi normal yang parameternya di nondimensionalkan dengan deviasi standar (σ) sama dengan satu, dimana nilai rata-rata menjadi median atau titik nol dari absis parameter nondimensional s . Distribusi ini dikenal dengan nama Distribusi Normal Standar $N[0,1]$, seperti terlihat pada Gambar 6.5.

$$N[0,1] = f_s(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} s^2\right); \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (6.11b)$$

$$s = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$$

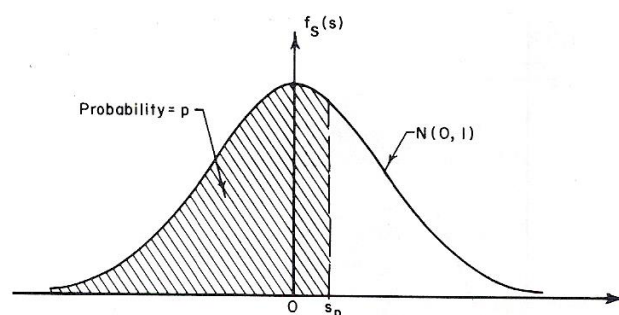


Figure 3.6 The standard normal density function

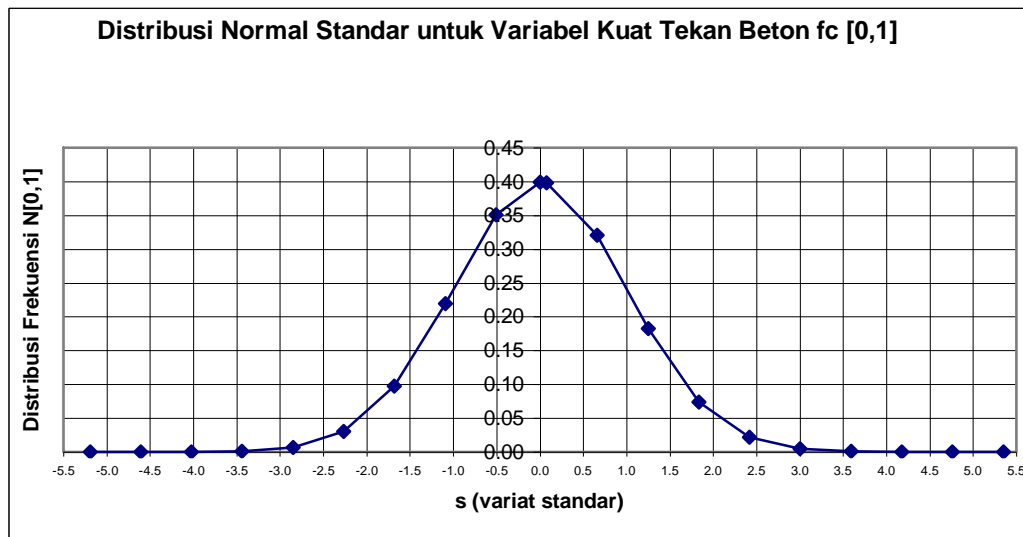
Gambar 6.5 Distribusi Normal Standar $N[0,1]$

Jika diterapkan pada contoh 2 pada variabel kuat tekan beton, perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.7 dan bentuk distribusi normal standar dapat dilihat pada Gambar 6.6. Hal yang perlu diperhatikan adalah ($\sigma = 1$, sehingga jika ingin didapat

harga distribusi frekuensi $f_{fc}(f_{ci})$, hasil dari distribusi normal standar harus dibagi dahulu dengan standar deviasi (f_c).

Tabel 6.7 Distribusi Normal Standar Variabel Kuat Tekan Beton f_c

f_{ci} MPa	s	$f_{fc}(s)[0,1]$	$f_{fc}(f_{ci})$
23	-5.192778	0.000001	0.000000
24	-4.607126	0.000010	0.000006
25	-4.021474	0.000123	0.000072
26	-3.435823	0.001090	0.000638
27	-2.850171	0.006869	0.004023
28	-2.264520	0.030716	0.017989
29	-1.678868	0.097468	0.057082
30	-1.093216	0.219480	0.128539
31	-0.507565	0.350728	0.205404
31.867	0.000000	0.398944	0.233642
32	0.078087	0.397730	0.232931
33	0.663738	0.320073	0.187451
34	1.249390	0.182789	0.107051
35	1.835042	0.074079	0.043385
36	2.420693	0.021305	0.012477
37	3.006345	0.004348	0.002547
38	3.591997	0.000630	0.000369
39	4.177648	0.000065	0.000038
40	4.763300	0.000005	0.000003
41	5.348951	0.000000	0.000000
$\mu_{fc} =$	31.867 MPa		
$\sigma_{fc} =$	1.707 MPa		
$\delta_{fc} =$	0.054		



Gambar 6.6 Distribusi Normal Standar Variabel Kuat Tekan Beton f_c

3.2.3 Distribusi Log Normal

Distribusi log-normal mempunyai formulasi matematis PDF sebagai berikut:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_x x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda_x}{\zeta_x}\right)^2\right]; 0 \leq x \leq \infty \quad (6.12)$$

$$\zeta_x^2 = \ln\left[1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right]; \zeta_x \approx \frac{\sigma_x}{\mu_x} = \delta_x$$

$$\lambda_x = \ln \mu_x - \frac{1}{2}\zeta_x^2$$

dengan bentuk grafik PDF seperti terlihat pada Gambar 6.7. Fenomena random yang mengikuti distribusi ini misalnya adalah fenomena curah hujan.

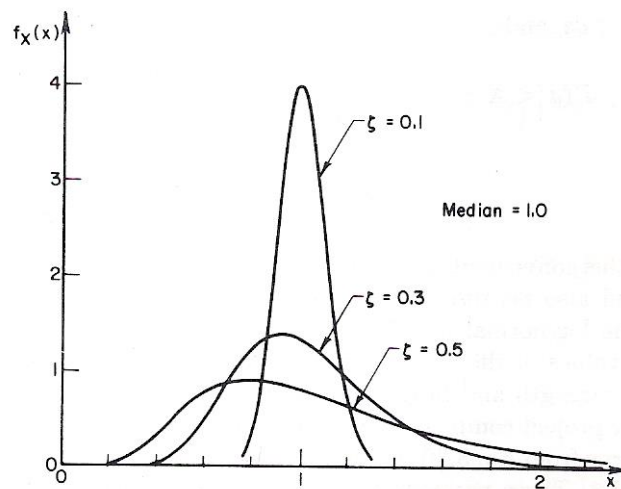


Figure 3.8 Log-normal density functions

Gambar 6.7 PDF Distribusi Log Normal

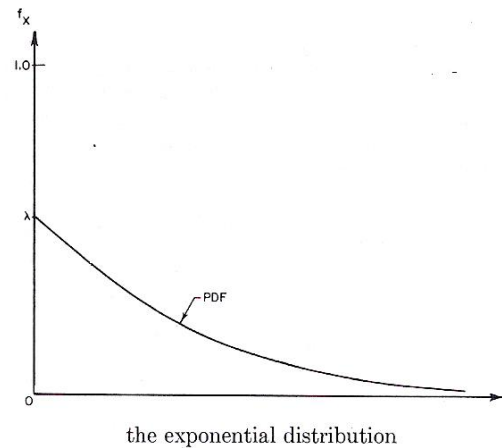
3.2.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial mempunyai formulasi matematis PDF sebagai berikut:

$$f_X(x) = \lambda_x \exp[-\lambda_x x]; \quad 0 \leq x < \infty \quad (6.13)$$

$$\lambda_x = \frac{1}{\sigma_x} = \frac{1}{\mu_x}$$

dengan bentuk grafik PDF seperti terlihat pada Gambar 6.8 Fenomena random yang mengikuti distribusi ini misalnya adalah fenomena bencana alam seperti gempa.



Gambar 6.8 PDF Distribusi Eksponensial

3.2.5 Distribusi-distribusi lain

Masih terdapat tipe-tipe distribusi lain seperti distribusi binomial, distribusi geometrik, distribusi Poisson, distribusi gamma, distribusi beta, distribusi hypergeometrik, dan berbagai distribusi ekstrim. Pendefinisian formal dari berbagai tipe distribusi ini dan fenomena random yang cocok dapat dilihat pada buku-buku teks statistik.

Jika kita ingin mengetahui distribusi kontinu mana yang cocok untuk suatu fenomena random yang belum pernah diteliti, maka ada suatu prosedur untuk menguji kehandalan suatu tipe distribusi terhadap fenomena tersebut. Uji tersebut memerlukan pengertian tentang teori probabilitas yang akan dibahas pada Bab VII.

3.3 Perumusan Formal Parameter Analisis Kontinu Fenomena Random

Parameter statistik suatu variabel random yang distribusinya kontinu dapat diturunkan sesuai definisi dalam Pasal 2.1 dari PDF-nya.

- a. Nilai rata-rata (mean value)/Nilai ekpektasi (expected value)

$$\mu_x = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx \quad (6.2b)$$

- b. Nilai ekpektasi dari fungsi random x

$$E(g(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) f_x(x) dx \quad (6.3b)$$

- c. Modus

$$x | f_x(x)_{maks} \quad (6.4b)$$

d. Median

$$x_m | F_x(x) = 0.5 \quad (6.5b)$$

e. Variansi

$$\text{Var}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 f_x(x) dx \quad (6.6b)$$

f. Standar Deviasi

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)} \quad (6.7)$$

g. Koefisien variansi (COV)

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (6.8)$$

h. Momen ketiga dan konstanta kemiringan PDF dari variabel random X

$$E(x - \mu_x)^3 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^3 f_x(x) dx \quad (6.9b)$$

Jika harga $E(x - \mu_x) = 0$ maka PDF simetrik pada nilai rata-rata μ_x , sedangkan untuk harga negatif dan positif, bentuk umum kurva PDF untuk dapat dilihat pada Gambar 6.9. Konstanta Kemiringan kurva (*skewness factor*) didefinisikan sebagai :

$$\theta = \frac{E(x - \mu_x)^3}{\sigma_x^3} \quad (6.9c)$$

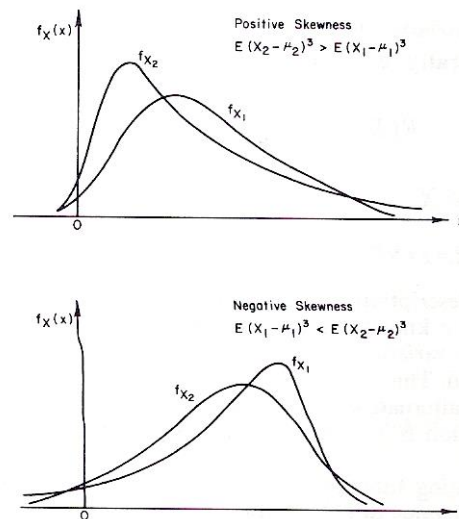


Figure 3.3 Asymmetric PDF

Gambar 6.9 Konstanta Kemiringan Kurva PDF

4. Fenomena Random 2 Variabel

Suatu fenomena random kemungkinan akan bergantung pada dua atau lebih variabel random, sehingga perumusan untuk variabel random tunggal dapat diperluas menjadi perumusan variabel random ganda dan majemuk. Salah satu hal penting adalah muncul pada kasus ini adalah faktor korelasi antar variabel random tersebut. Penentuan faktor korelasi termasuk dalam hal yang signifikan dalam analisis statistik.

4.1. Variabel Random Ganda Deskript

Jika suatu fenomena random yang ditentukan dua variabel random secara umum mempunyai PMF Gabungan, seperti terlihat pada Gambar 6.10 dengan formulasi umum.

$$P_{X,Y}(x,y) = P_{XY}(X=x,Y=y) \quad (6.14a)$$

Secara umum sulit untuk menentukan suatu harga rata-rata dari parameter random ganda dan majemuk. Parameter penting yang biasa ditentukan dalam hal ini adalah menentukan korelasi antar dua buah varianbel fenomena random tersebut, dimana ditentukan dulu Koefisien variansi gabungan $\{COV(X,Y)\}$

$$\delta_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{x_i, y_i} (\mu_x - x_i)(\mu_y - y_i) \quad (6.15a)$$

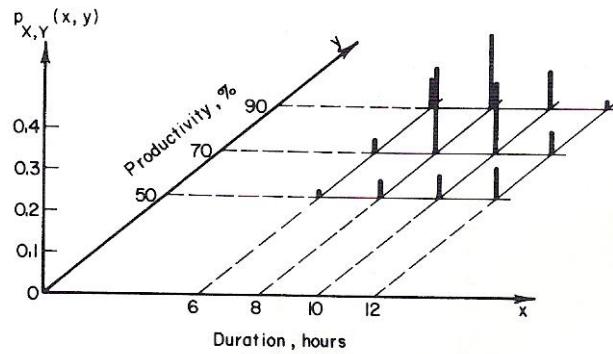


Figure E3.24a Joint PMF $p_{X,Y}(x, y)$

Gambar 6.10 PMF Gabungan Variabel Random Ganda

sehingga diperoleh koefisien korelasi antar dua variabel random X & Y

$$\rho_{xy} = \frac{\delta_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6.16)$$

Jika $\delta_{xy} = 0$, otomatis $\rho_{xy} = 0$, maka terjadi kondisi independen secara statistik (*statistically independent*) antar dua variabel random tersebut, dan persamaan 6.14 dapat disederhanakan menjadi

$$P_{X,Y}(x,y) = P_X(X=x)P_Y(Y=y) \quad (6.14c)$$

yang berarti masing-masing variabel random tidak saling bergantung dan mempunyai PMF sendiri-sendiri mempunyai. Jika $\rho_{xy} \neq 0$ maka harga ρ_{xy} mendeskripsi sebaran dua variabel random seperti terlihat pada Gambar 6.11

4.2. Variabel Ganda Kontinu

Jika suatu fenomena random yang ditentukan dua variabel random secara umum mempunyai PDF Gabungan, seperti terlihat pada Gambar 6.12, dengan formulasi umum.

$$f_{X,Y}(x,y) = f_{XY}(X=x,Y=y) \quad (6.14b)$$

Secara umum juga sulit untuk menentukan suatu harga rata-rata dari parameter random ganda dan majemuk. Parameter penting yang biasa ditentukan dalam hal ini adalah menentukan korelasi antar dua buah variabel fenomena random tersebut, dimana ditentukan dulu Variansi gabungan $[\text{Var}\{X,Y\}]$ serta koefisien variansi gabungan $\{\text{COV}(X,Y)\}$

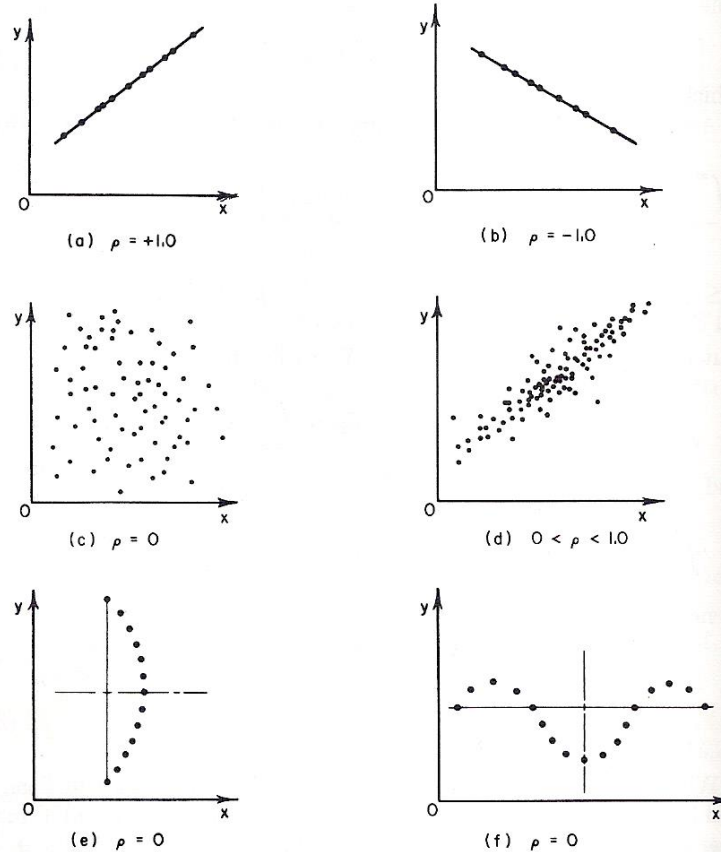


Figure 3.15 Significance of correlation coefficient ρ . (a) $\rho = +1.0$. (b) $\rho = -1.0$. (c) $\rho = 0$. (d) $0 < \rho < 1.0$. (e) $\rho = 0$. (f) $\rho = 0$.

Gambar 6.11 Korelasi antar 2 variabel random

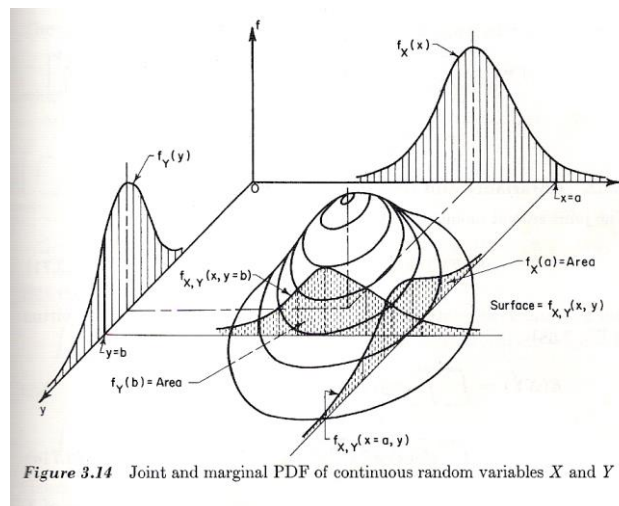


Figure 3.14 Joint and marginal PDF of continuous random variables X and Y

Gambar 6.12 PDF Gabungan Variabel Random Ganda

$$\text{Var}(X,Y) = E(XY) = \int \int xy f_{XY}(x,y) dx dy \quad (6.17)$$

$$\delta_{XY} = E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)] = E(xy) - E(x)E(y) \quad (6.15b)$$

sehingga diperoleh koefisien korelasi antar dua variabel random X & Y

$$\rho_{xy} = \frac{\delta_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6.16)$$

Jika $\delta_{xy} = 0$, otomatis $\rho_{xy} = 0$, maka terjadi kondisi independen secara statistik (*statistically independent*) antar dua variabel random tersebut, dan persamaan 6.14 dapat disederhanakan menjadi

$$f_{X,Y}(x,y) = f_X(x) f_Y(y) \quad (6.14d)$$

dan persamaan 6.17 menjadi

$$E(XY) = E(X) E(Y) \quad (6.17a)$$

yang berarti masing-masing variabel random tidak saling bergantung dan mempunyai PDF sendiri-sendiri.

5. Operasi Variabel Random & Variabel Random Majemuk

Pada variabel random dapat dikenakan operasi-operasi matematis seperti yang dikenal pada variabel deterministik biasa, namun tentunya ada prosedur-prosedur khusus yang harus diperhatikan. Beberapa operasi standar yang dibahas antara lain operasi aljabar (penjumlahan dan perkalian) serta operasi fungsi.

5.1 Operasi Aljabar Variabel Random

Penjumlahan/pengurangan secara umum antar variabel random yang mempunyai distribusi normal akan menghasilkan variabel random yang juga mempunyai distribusi normal. Jadi hal yang paling penting adalah menentukan parameter penting (seperti nilai rata-rata dan deviasi standar) variabel random hasil dari parameter variabel random yang menyusunnya.

$$z = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (6.18)$$

$$\mu_z = \sum_{i=1}^n a_i \mu_{x_i} \quad (6.18a)$$

$$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (6.18b)$$

Perkalian/pembagian antar variabel random yang mempunyai distribusi log-normal akan menghasilkan variabel random yang juga mempunyai distribusi log-normal. Jadi hal yang paling penting adalah menentukan parameter penting

(seperti nilai rata-rata dan deviasi standar) variabel random hasil dari parameter variabel random yang menyusunnya.

$$z = \prod_{i=1}^n x_i \quad (6.19)$$

$$\ln z = \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (6.19a)$$

$$\lambda_z = \sum_{i=1}^n \lambda_{x_i} \quad (6.19b)$$

$$\zeta_z^2 = \sum_{i=1}^n \zeta_{x_i}^2 \quad (6.19c)$$

Jika suatu variabel random tersusun dari penjumlahan atau perkalian dari cukup banyak variabel random penyusunnya, maka berlaku *Central limit theorem*, dimana walaupun tiap variabel random mempunyai tipe distribusi yang berbeda, distribusi variabel random hasil adalah distribusi normal untuk penjumlahan dan distribusi log-normal untuk perkalian, asalkan antar variabel random independen secara statistik

$$S = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.20)$$

$$P = c \prod_{i=1}^n X_i \quad (6.21)$$

5.2 Operasi Fungsi Variabel Random

5.2.1 PDF Turunan fungsi random 1 variabel

Jika suatu variabel random Y merupakan fungsi dari variabel random X

$$Y = g(X) \quad (6.22)$$

dimana variabel random X mempunyai PDF

$$f_X = f_X(x) \quad (6.22a)$$

Maka PDF variabel random Y adalah

$$f_Y = f_Y(y) = f_X(g^{-1}(X)) \left| \frac{dg^{-1}}{dy} \right| \quad (6.22b)$$

Ekspetasi dari variabel random Y adalah secara eksak adalah

$$E(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} g(X) f_X(x) dx \quad (6.23)$$

Variansi dari variabel random Y adalah secara eksak adalah

$$Var(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} [g(X) - E(Y)]^2 f_X(x) dx \quad (6.24)$$

Jika perhitungan secara eksak sulit dilakukan, maka pendekatan Deret Taylor Orde 1 dapat digunakan

Ekspektasi dari variabel random Y adalah secara pendekatan adalah

$$E(Y) = g(\mu_x) \quad (6.23a)$$

Variansi dari variabel random Y adalah secara pendekatan adalah

$$Var(Y) = Var(X) \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 \quad (6.24a)$$

5.2.2 PMF & PDF Turunan fungsi random multivariabel

Jika suatu variabel random Y merupakan fungsi dari multirandom variabel X_1, X_2, \dots, X_n

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (6.25)$$

Maka jika distribusi variabel bersifat deskrit, PMF dari variabel random Y adalah

$$P_Y(y) = \sum_{i=1}^n P_{X_i}(x_i) \quad (6.25a)$$

Sedangkan jika distribusi variabel bersifat kontinu, PDF dari variabel random Y adalah

$$f_Y(y) = \sum_{i=1}^n f_{X_i}(g_i^{-1}) \left| \frac{dg^{-1}}{dy} \right| \quad (6.25b)$$

Ekspektasi dari variabel random Y dari Pendekatan Deret Taylor Orde 1

$$E(Y) = g(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn}) \quad (6.26)$$

Variansi dari variabel random Y dari Pendekatan Deret Taylor Orde

$$Var(Y) = \sum_{i=1}^n Var(X_i) \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \delta(X_i, X_j) \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \left(\frac{\partial g}{\partial X_j} \right) \quad (6.27)$$

Jika antar variabel random X_i dan X_j saling independen secara statistik, maka persamaan 6.27 dapat disederhanakan menjadi

$$Var(Y) = \sum_{i=1}^n Var(X_i) \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \quad (6.27a)$$

Jika variabel random Y secara khusus adalah fungsi linier dari sejumlah variabel random

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (6.28)$$

maka ekspektasi variabel random Y adalah

$$E(Y) = \sum_{i=1}^n a_i E(X_i) \quad (6.29)$$

dari variansi variabel random Y adalah

$$Var(Y) = \sum_{i=1}^n a_i^2 \sigma_{X_i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n a_i a_j \rho_{ij} \sigma_{X_i} \sigma_{X_j} \quad (6.30)$$

Jika antar variabel random X_i dan X_j saling independen secara statistik, maka persamaan 6.29 dapat disederhanakan menjadi

$$Var(Y) = \sum_{i=1}^n a_i^2 \sigma_{X_i}^2 \quad (6.30b)$$

Jika variabel random Y adalah perkalian dari sejumlah variabel random X

$$Y = X_1 X_2 \dots X_n \quad (6.31)$$

Maka ekspektasi variabel random Y adalah

$$E(Y) = E(X_1) E(X_2) \dots E(X_n) \quad (6.32)$$

Dan Variansi dari variabel random Y adalah

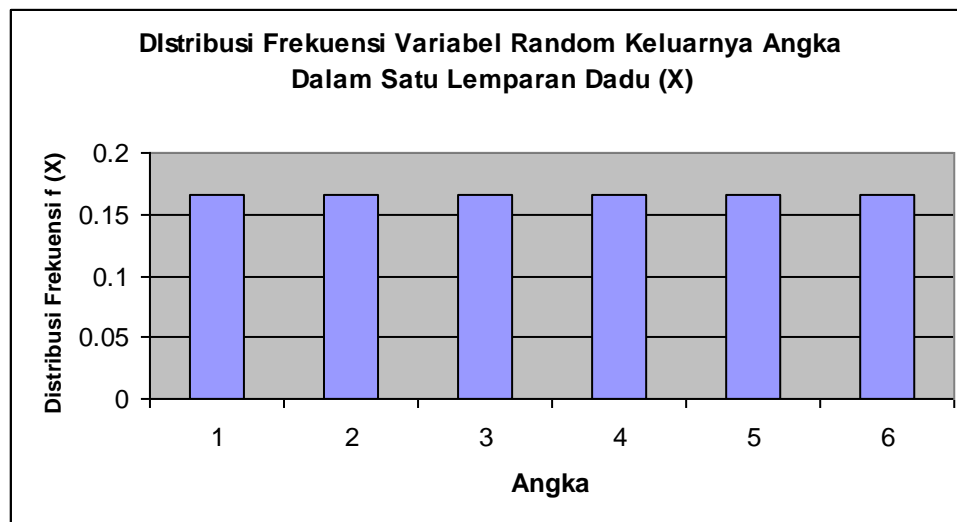
$$Var(Y) = [E(X_1^2) E(X_2^2) \dots E(X_n^2)] - [E(Y)]^2 \quad (6.33)$$

BAB VII TEORI PROBABILITAS

1. Pengertian Teori Probabilitas

Teori Probabilitas, atau disebut juga teori kemungkinan merupakan suatu teori yang sering digunakan dalam pengambilan keputusan tentang suatu fenomena yang bersifat random. Teori ini sangat berkaitan dengan statistik, -sebagai wahana yang mendeskripsikan variabel random- sehingga saat ini hampir tidak bisa memisahkan kedua teori tersebut.

Sebagai contoh klasik dari teori probabilitas adalah fenomena dadu yang dilemparkan sembarang. Secara umum dipahami bahwa kemungkinan keluarnya 1 angka adalah 1 dari 6 kemungkinan. Jadi tiap angka mempunyai kemungkinan keluar yang sama, yaitu $1/6$ dalam tiap lemparan. Jika dibuat PMF, maka fenomena (dilambangkan dengan X) ini dapat dimodelkan dengan distribusi diskrit yang merata seperti terlihat pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Distribusi Frekuensi Fenomena Lemparan Dadu

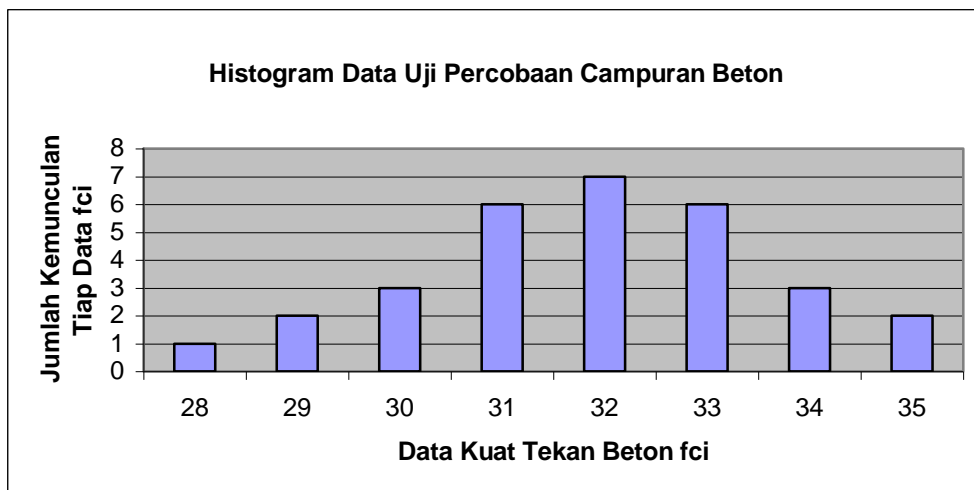
Dalam teori probabilitas kemungkinan keluarnya 1 angka dinyatakan dalam notasi $P(X = x_i)$, misalnya kemungkinan keluarnya angka 3 adalah $P(X = 3) = 1/6$, kemungkinan keluarnya angka 2 adalah $P(X = 2) = 1/6$ dan kemungkinan keluarnya angka 1 adalah $P(X = 1) = 1/6$. Jika pertanyaannya adalah berapa kemungkinan keluarnya angka kurang atau sama dengan 3 dalam 1 lemparan ?, maka dapat dipahami kemungkinannya adalah $3/6$ (atau $1/2$), yang dalam notasi dituliskan $P(X \leq 3) = 0.5$.

Pada kasus contoh 2 pada Bab VI, dimana PMF dapat dilihat pada Tabel 7.1 dan Gambar 7.2, maka jika pertanyaannya berapa kemungkinan terjadi mutu beton dibawah $f_c = 30$ MPa ? PMF menunjukkan adanya 3 buah data kuat tekan

yang kurang dari $f_c = 30$ MPa dari total 30 data, sehingga dapat dikatakan kemungkinannya adalah $3/30$ atau 0.1 atau 10% . Notasi probabilitas dari pernyataan ini adalah $P(f_c < 30 \text{ MPa}) = 0.1$. Secara praktis hal ini disebut resiko kegagalan (10%), karena diinginkan target kuat tekan $f_c' = 30$ MPa.

Tabel 7.1 Distribusi Frekuensi Variabel Kuat Tekan Beton f_c

Rank	Data f_c (Mpa)	Frekuensi Kemunculan	P f_c (f_{ci})
1	28	1	0.033
2	29	2	0.067
3	30	3	0.100
4	31	6	0.200
5	32	7	0.233
6	33	6	0.200
7	34	3	0.100
8	35	2	0.067
		30	1.000



Gambar 7.2 Histogram dari Variabel Kuat Tekan Beton f_c

Pengambilan keputusan dalam teori probabilitas ditentukan oleh besarnya resiko yang disepakati, bukannya pada parameter yang mewakili populasi data variabel random seperti nilai rata-rata, median atau modus. Proses analisis suatu fenomena random mulai dari pengumpulan data, analisis data diskrit, analisis data kontinu sampai pengambilan keputusan dapat dilihat pada Gambar 7.3

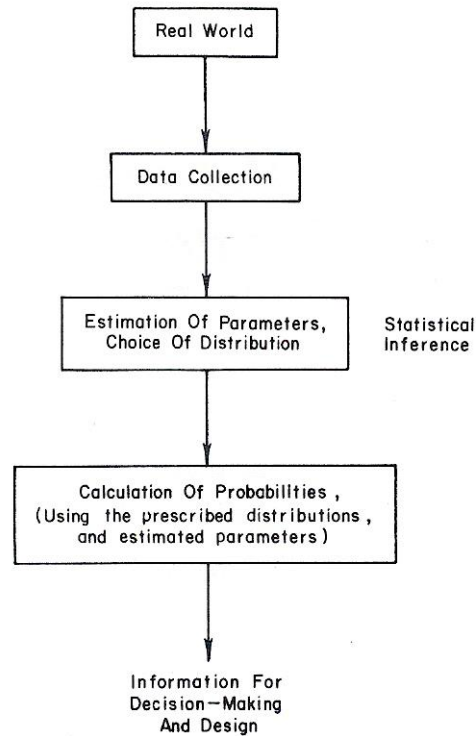


Figure 5.1 Role of statistical inference in decision-making process

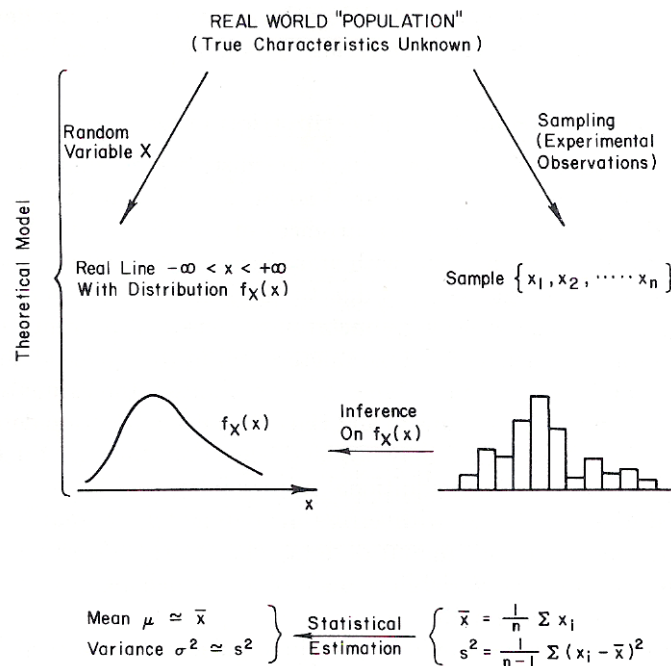


Figure 5.2 Role of sampling in statistical inference

Gambar 7.3 Proses Analisis Fenomena Random

Pada bab ini akan dibahas hal-hal mendasar dari teori probabilitas, dimulai dari definisi formal, aturan operasional, matematika teori probabilitas, dan distribusi frekuensi kumulatif (*cumulative distribution function* - CDF).

2. Beberapa Definsi

Dalam teori himpunan, himpunan dari semua kemungkinan dalam problem probabilitas disebut **ruang sampel** (*sample space/S*), dan tiap dari kemungkinan individual disebut titik sampel. Suatu **kejadian** (*event/E*) didefinisikan sebagai subhimpunan dari ruang sampel. Jika kita membahas kemungkinan terjadinya suatu kejadian, maka kita pasti mengacu pada kejadian dalam suatu ruang sampel tertentu.

Ruang sampel dapat berbentuk diskrit atau kontinu. Ruang sampel diskrit dapat termasuk kategori tak terhingga (*infinite*) atau terhingga (*finite*), sedangkan ruang sampel kontinu pasilah tak terhingga (*infinite*)

Beberapa kejadian khusus penting adalah : Kejadian yang tidak mungkin (*impossible event* - \emptyset), kejadian yang pasti terjadi (certain event - S), dan kejadian komplementer (complementary event- \bar{E}). Definisi-definisi dalam teori himpunan ini dideskripsikan secara grafis dengan Diagram Venn. Pada Gambar 7.4 menunjukkan S, E , dan \bar{E} (adalah himpunan kosong).

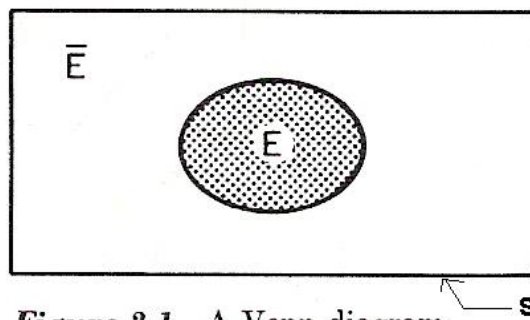


Figure 2.1 A Venn diagram

Gambar 7.4 Definisi S, E dan \bar{E}

Jika ada beberapa kejadian dalam ruang sampel, ada kemungkinan kejadian-kejadian itu berkombinasi. Dua jenis kombinasi tersebut adalah perpotongan (*intersection*) dan gabungan (*union*). Jika ada suatu kejadian E_1 dan kejadian E_2 , maka perpotongan dua kejadian tersebut dinotasikan sebagai $E_1 \cap E_2$ (atau $E_1 E_2$), seperti terlihat dalam Gambar 7.5 sedangkan gabungan dari kedua kejadian tersebut dinotasikan sebagai $E_1 \cup E_2$ seperti terlihat pada Gambar 7.6

BASIC PROBABILITY CONCEPTS

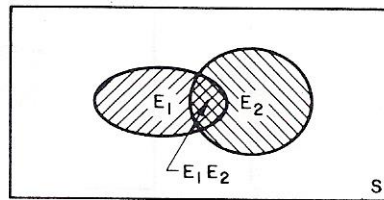


Figure 2.4 Venn diagram of intersection of events E_1 and E_2

Gambar 7.5 Definisi Perpotongan Dua Kejadian

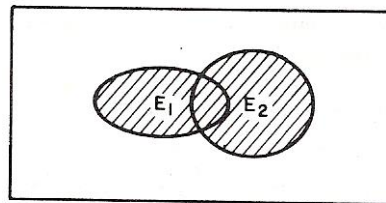


Figure 2.3 Venn diagram for union of events E_1 and E_2

Gambar 7.6 Definisi Gabungan Dua Kejadian

Jika dua kejadian E_1 dan E_2 sama sekali tidak berpotongan, maka dua tersebut disebut kejadian saling eksklusif (*mutually excludive events*), seperti terlihat pada Gambar 7.7. Jika beberapa kejadian membentuk suatu gabungan yang seluruhnya menjadi ruang sampel, kejadian-kejadian tersebut disebut kejadian-kejadian yang bergabung secara total (*collectively exhaustive events*), seperti terlihat pada Gambar 7.8. Suatu kejadian khusus dimana dua kejadian merupakan *mutually excludive events* sekaligus *collectively exhaustive events* dapat dilihat pada Gambar 7.9

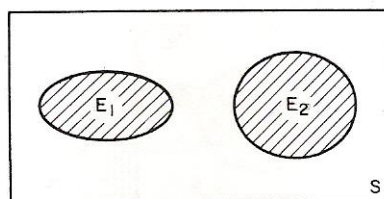
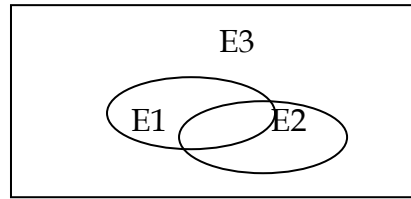


Figure 2.5 Mutually excludive events E_1 and E_2

Gambar 7.7 Kondisi Kejadian Saling Eksklusif



Gambar 7.8 Kondisi Kejadian Bergabung secara Total

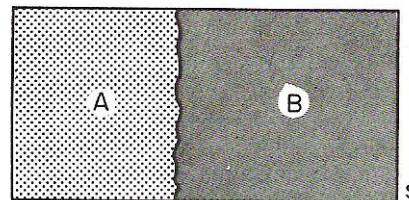


Figure E2.7c

Gambar 7.9 Kondisi Kejadian Saling Eksklusif sekaligus Bergabung Secara Total

Dua notasi lain yang terkadang digunakan adalah notasi \subset yang berarti "terdapat di", dan \supset yang berarti "berisikan".

3. Aturan Operasional

Beberapa aturan operasional dasar dalam teori probabilitas antara lain Aturan Kesamaan, Aturan Komplementer, Aturan Komutatif, Aturan Asosiatif, Aturan Distributif dan Aturan De Morgan.

Aturan Kesamaan seperti dipandu dalam Gambar 7.10 antara lain

$$A \cup \phi = A \quad (7.1)$$

$$A \cap \phi = \phi$$

$$A \cup A = A \quad (7.2)$$

$$A \cap A = A$$

$$A \cup S = S \quad (7.3)$$

$$A \cap S = A$$

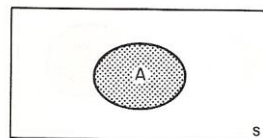


Figure 2.6 Event A

Gambar 7.10 Aturan Kesamaan

Aturan Komplementer seperti dipandu dalam Gambar 7.4 antara lain :

$$\begin{aligned} \overline{E \cup E} &= S & (7.4) \\ E \cap \overline{E} &= \phi \\ \overline{\overline{E}} &= E \end{aligned}$$

Aturan Komutatif seperti dipandu dalam Gambar 7.11 (Fig 2.7 Ang Tang) tara lain

$$\begin{aligned} A \cup B &= B \cup A & (7.5) \\ A \cap B &= B \cap A \end{aligned}$$

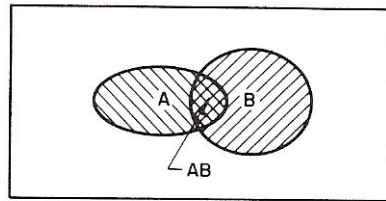


Figure 2.7 Venn diagram of two sets A and B

Gambar 7.11 Aturan Komutatif

Aturan Asosiatif seperti dipandu dalam Gambar 7.12a dan Gambar antara lain

$$\begin{aligned} (A \cup B) \cup C &= A \cup (B \cup C) & (7.6) \\ (AB) C &= A (BC) \end{aligned}$$

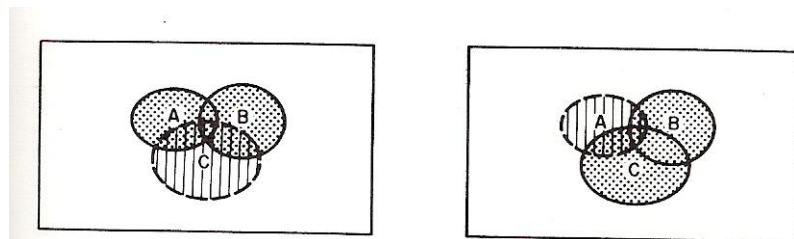
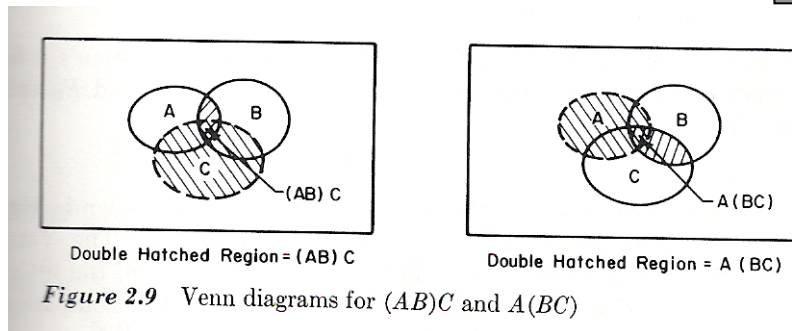


Figure 2.8 Venn diagrams for $(A \cup B) \cup C$ and $A \cup (B \cup C)$

Gambar 7.12a Aturan Asosiatif Gabungan



Gambar 7.12b Aturan Asosiatif Perpotongan

Aturan Distributif seperti dipandu dalam Gambar 7.13a dan Gambar 13b antara lain

$$\begin{aligned} (A \cup B) \cap C &= AC \cup BC & (7.7) \\ (A \cap B) \cup C &= (A \cup C) \cap (B \cup C) \end{aligned}$$

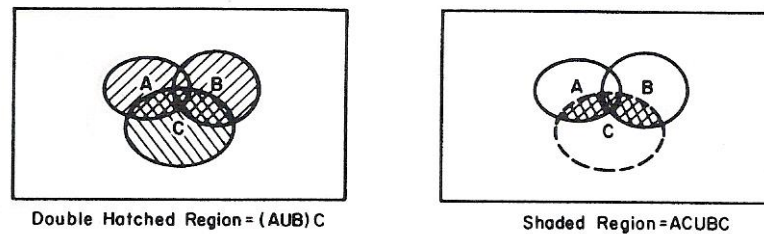


Figure 2.10 Venn diagrams for $(A \cup B) \cap C$ and $AC \cup BC$

Gambar 7.13a Aturan Distributif Gabungan – Irisan

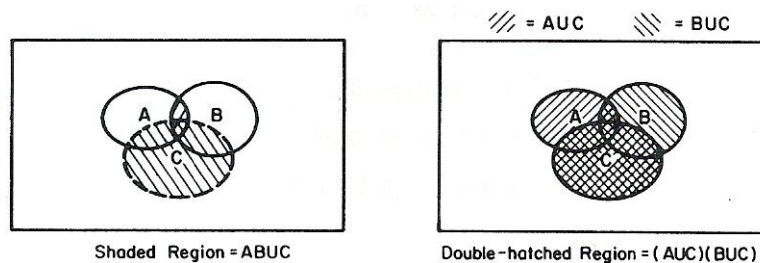


Figure 2.11 Venn diagrams for $AB \cap C$ and $(A \cap C) \cup (B \cap C)$

Gambar 7.13b Aturan Distributif Irisan – Gabungan

Aturan De Morgan adalah “ Komplemen dari gabungan dan perpotongan adalah sama dengan potongan dan gabungan dari komplemen yang bersangkutan ”. Aturan ini dijabarkan dalam notasi yang dipandu Gambar 7.14

$$\overline{E_1 \cap E_2} = \overline{E_1} \cap \overline{E_2} \quad (7.8)$$

atau secara umum

$$\overline{E_1 \cap E_2 \cap E_3 \dots \dots \cup E_n} = \overline{E_1} \cap \overline{E_2} \cap \overline{E_3} \dots \dots \cap \overline{E_n}$$

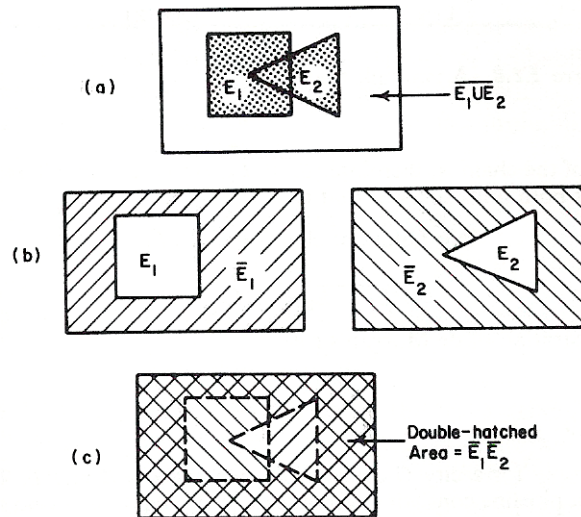


Figure 2.12 Venn diagrams for de Morgan's rule

Gambar 7.14 Aturan De Morgan

Variasi dari persamaan 7.8

$$\overline{E_1 \cup E_2 \cup E_3 \dots \cup E_n} = \bar{E}_1 \bar{E}_2 \bar{E}_3 \dots \bar{E}_n \quad (7.9)$$

$$\overline{E_1 \cup E_2 \cup E_3 \dots \cup E_n} = \bar{E}_1 \bar{E}_2 \bar{E}_3 \dots \bar{E}_n$$

4. Matematika Teori Probabilitas

Aturan operasional dijabarkan secara kuantitas oleh matematika teori probabilitas. Pada sub bab ini akan dibahas dasar-dasar matematika teori probabilitas yang menyangkut aturan pertambahan, aturan perkalian kondisi independen secara statistik, teorema probabilitas total dan teorema Bayes.

4.1. Aturan Aljabar Penjumlahan

Beberapa aturan aljabar penjumlahan adalah sebagai berikut.

- a. Peluang terjadinya kejadian pasti atau keseluruhan ruang sampel S adalah 1 (Lihat Gambar 7.4)

$$P(S) = 1 \quad (7.10)$$

- b. Peluang terjadinya suatu kejadian dalam ruang sampel adalah antara 0 dan 1 (Lihat Gambar 7.4)

$$0 \leq P(E) \leq 1 \quad (7.11)$$

- c. Jika dua buah kejadian saling eksklusif (Lihat Gambar 7.7), maka peluang terjadinya gabungan dua kejadian tersebut adalah jumlah dari masing-masing kemungkinan kejadian tersebut

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) \quad (7.12)$$

- d. Jika dua buah kejadian saling berkomplementer digabung, maka kemungkinan gabungan kejadian tersebut sama dengan kejadian pasti atau ruang sampel atau sama dengan 1. (Lihat Gambar 7.4), maka peluang terjadinya gabungan dua kejadian tersebut adalah jumlah dari masing-masing kemungkinan kejadian tersebut

$$P(E \cup \bar{E}) = P(S) = 1 \quad (7.13)$$

- e. Peluang terjadinya komplementer suatu kejadian adalah 1 dikurangi peluang kejadian tersebut (Lihat Gambar 7.4)

$$P(\bar{E}) = 1 - P(E) \quad (7.14)$$

- f. Jika dua buah kejadian tidak saling eksklusif (Lihat Gambar 7.5), maka peluang terjadinya gabungan dua kejadian tersebut adalah jumlah dari masing-masing kemungkinan kejadian tersebut dikurangi peluang terjadinya perpotongan antara dua kejadian tersebut.

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1 E_2) \quad (7.15)$$

4.2. Aturan Perkalian : Probabilitas Terkondisi (*Conditional Probability*)

Kemungkinan terjadinya suatu kejadian terkadang tergantung dari terjadinya kejadian lain. Jika ketergantungan ini terjadi, maka kemungkinan kejadian yang terkait disebut didefinisikan sebagai probabilitas terkondisi (*conditional probability*)

Jika kita perhatikan kembali Gambar 7.5, ada suatu kondisi dimana kejadian E_1 terjadi jika kejadian E_2 telah terjadi, hal inilah yang disebut probabilitas terkondisi yang dinotasikan sebagai $P(E_1 | E_2)$, dimana formulasi matematisnya adalah :

$$P(E_1 | E_2) = \frac{P(E_1 E_2)}{P(E_2)} \quad (7.16)$$

atau

$$\begin{aligned} P(E_1 E_2) &= P(E_1 | E_2) P(E_2) \\ P(E_2 E_1) &= P(E_2 | E_1) P(E_1) \end{aligned}$$

yang disebut aturan perkalian.

Beberapa pengembangan dari perumusan di atas antara lain :

- a. Jika kejadian E_2 merupakan ruang sampel S , maka kemungkinan terjadinya kejadian E_1 jika terjadi ruang sampel S adalah sama dengan kemungkinan terjadinya E_1 . (Lihat Gambar 7.4)

$$P(E_1 | S) = \frac{P(ES)}{P(S)} = P(E) \quad (7.17)$$

- b. Jika kemungkinan kejadian E_1 jika terjadinya kejadian E_2 dijumlahkan dengan kemungkinan kejadian komplementer dari E_1 jika terjadinya kejadian E_2 , maka jumlahnya adalah satu (Lihat Gambar 7.15)

$$P(E_1 | E_2) + P(\bar{E}_1 | E_2) = 1 \quad (7.18)$$

Atau

$$P(\bar{E}_1 | E_2) = 1 - P(E_1 | E_2)$$

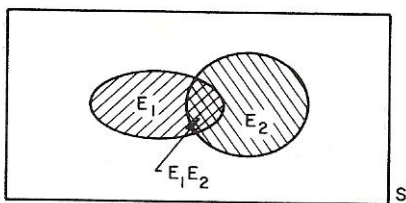


Figure 2.14 Reconstituted sample space E

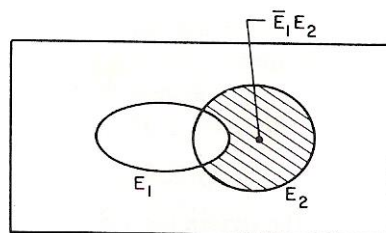


Figure 2.13 Union of E_1 and E_1E_2

Gambar 7.15 Penjumlahan Kejadian saling Komplementer dalam Probabilitas Terkondisi

- c. Jika ada tiga kejadian, maka aturan perkalian menjadi

$$P(E_1 E_2 E_3) = P(E_1 | E_2 E_3) P(E_2 | E_3) P(E_3) \quad (7.19)$$

atau

$$P(E_1 E_2 E_3) = P(E_1 E_2 | E_3) P(E_3)$$

- d. Gabungan dan perpotongan dua kejadian dalam ruang sampel yang di rekonstitusi (misalnya disebut A)

$$P(E_1 \cup E_2 | A) = P(E_1 | A) + P(E_2 | A) - P(E_1 E_2 | A) \quad (7.20)$$

Dari persamaan 7.19, jika E_3 diganti A , dan menyamakan dua suku diperoleh

$$P(E_1 E_2 | A) = P(E_1 | E_2 A) P(E_2 | E_3) \quad (7.21)$$

4.3. Kondisi Independen Statistik (Statistically Independent) antar 2 Kejadian

Probabilitas terkondisi dapat dikembangkan untuk memformulasikan kondisi independen statistik antar dua kejadian secara matematis. Kondisi ini terjadi jika kemungkinan terjadinya kejadian E_1 bila kejadian E_2 terjadi adalah sama dengan kemungkinan terjadinya E_1 , dan sebaliknya.

$$P(E_1 | E_2) = P(E_1) \quad (7.20)$$

dan

$$P(E_2 | E_1) = P(E_2)$$

Jika persamaan 7.16 dikembangkan

$$P(E_1 E_2) = P(E_1 | E_2) P(E_2)$$

dan

$$P(E_2 E_1) = P(E_2 | E_1) P(E_1)$$

dan dimasukkan persamaan 7.19 maka diperoleh

$$P(E_1 E_2) = P(E_1) P(E_2) \quad (7.20)$$

dan

$$P(E_2 E_1) = P(E_2) P(E_1)$$

Atau secara umum

$$P(E_1, E_2, E_3, \dots, E_n) = P(E_1) P(E_2) P(E_3) \dots P(E_n)$$

Dapat dibuktikan bahwa komplementer kejadian pun jika independen secara statis bahwa kemungkinan terjadinya perpotongan antar komplementer kejadian adalah perkalian antar komplementer kejadian tersebut.

$$P(\overline{E_1} \overline{E_2}) = P(\overline{E_1}) P(\overline{E_2}) \quad (7.21)$$

Atau secara umum

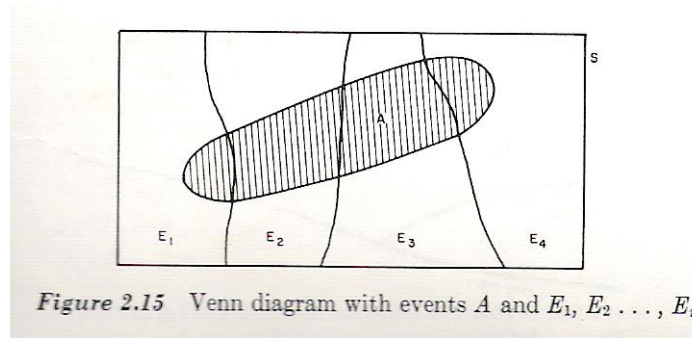
$$P(\overline{E_1}, \overline{E_2}, \overline{E_3}, \dots, \overline{E_n}) = P(\overline{E_1}) P(\overline{E_2}) P(\overline{E_3}) \dots P(\overline{E_n})$$

4.4. Teorema Probabilitas Total (Total Probability Teorem)

Terkadang kemungkinan terjadinya suatu kejadian A, tidak dapat ditentukan secara langsung, tetapi kemunculannya selalu disertai kejadian lain E_i , $i=1,2,3,\dots,n$, sehingga kemungkinan kejadian A tergantung dari munculnya

kejadian E_i . Jadi pada kasus ini kemungkinan terjadinya A adalah kemungkinan ekspektasi (atau kemungkinan rata-rata), atau yang kenal dengan Teorema Probabilitas Total (*Total Probability Theorem*). Diagram yang menggambarkan teorema ini dapat dilihat pada Gambar 7.16, dan formula matematisnya adalah :

$$P(A) = P(A | E_1) P(E_1) + P(A | E_2) P(E_2) + P(A | E_3) P(E_3) \dots P(A | E_n) P(E_n) \quad (7.22)$$



Gambar 7.16 Teorema Probabilitas Total

Syarat dari teorema ini adalah tiap kejadian E_i saling eksklusif (*mutually exclusive*) dan kejadian A adalah bergabung secara total (*collectively exhaustive*).

4.5. Teorema Bayes (Bayesian Theorem)

Dalam kondisi Teorema Probabilitas Total, jika kejadian A benar-benar terjadi, berapa kemungkinan terjadinya secara khusus kejadian E_i ?. Hal ini merupakan kebalikan dari Teorema Probabilitas Total. Teorema ini sering digunakan untuk meng 'update' data kemungkinan dari masing-masing E_i jika kejadian A terjadi.

Dengan mengembangkan persamaan 7.20,

$$P(A | E_i) P(E_i) = P(A) P(E_i | A)$$

Sehingga kemungkinan kejadian E_i yang didapat

$$P(E_i | A) = \frac{P(A | E_i) P(E_i)}{P(A)} \quad (7.23)$$

Jika diperluas dengan teorema probabilitas total

$$P(E_i | A) = \frac{P(A | E_i) P(E_i)}{\sum_{j=1}^n P(A | E_j) P(E_j)}$$

5. Frekuensi Distribusi Kumulatif (Cumulative Distribution Function -CDF)

Pada contoh dalam pasal 1, suatu pengertian yang penting dari teori probabilitas dapat dikembangkan sebagai berikut (Lihat Tabel 7.2)

Tabel 7.2 Pengertian Frekuensi Distribusi Kumulatif

Data fci	PDF fc P fc (fci)	Kemungkinan Kejadian	CDF fc	
			F fc (fci)	
28	0.033	P(fc ? 28)	F fc (28)	0.033
29	0.067	P(fc ? 29)	F fc (29)	0.100
30	0.100	P(fc ? 30)	F fc (30)	0.200
31	0.200	P(fc ? 31)	F fc (31)	0.400
32	0.233	P(fc ? 32)	F fc (32)	0.633
33	0.200	P(fc ? 33)	F fc (33)	0.833
34	0.100	P(fc ? 34)	F fc (34)	0.933
35	0.067	P(fc ? 35)	F fc (35)	1.000

Kemungkinan kejadian yang dikumulatikan mulai dari data terkecil sampai data tertentu dapat dikategorikan sebagai “fungsi” dalam term matematis. Fungsi ini dikenal sebagai frekuensi distribusi kumulatif (*Cumulative Distribution Function - CDF*).

PDF dan CDF adalah dua fungsi yang menjembatani teori probabilitas, statistik dan matematik. Definisi, aturan teori probabilitas dihubungkan dengan matematik dan statistik seperti terlihat pada Gambar 7.17 (Fig 3.1 Ang Tang)

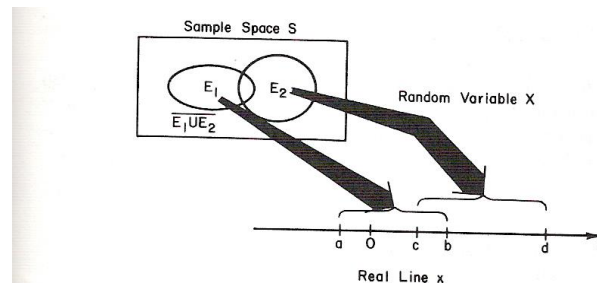


Figure 3.1 Mapping of events into real line through random variable X

Gambar 7.17 Pemetaan Diagram Venn ke Garis Bilangan

$$E_1 = (a < X \leq b) \tag{7.24}$$

$$E_2 = (c < X \leq d)$$

$$E_1 \cup E_2 = (a < X \leq d)$$

$$E_1 \cap E_2 = (c < X \leq b)$$

5.1 Variabel Random Tunggal

CDF dapat diterapkan pada variabel random baik yang mempunyai distribusi frekuensi diskrit maupun kontinu. Pada contoh variabel random X yang dimodelkan secara diskrit, hubungan PMF dengan CDF adalah

$$F_X(x) = P(X \leq x_i) = \sum_{i=1}^n P(X = x_i) \quad (7.25)$$

Ciri khas dari fungsi ini adalah :

Ordinat antara 0 dan 1

$$0 \leq F_X(x) \leq 1$$

dengan dengan rentang basis selueug bilangan real

$$\sim \leq x \leq \sim$$

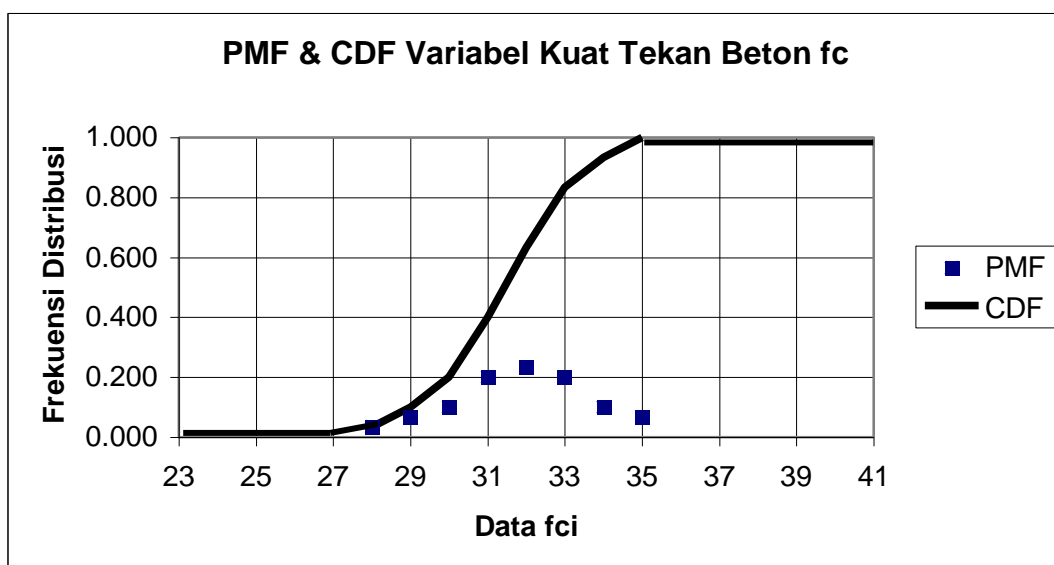
dan 2 harga khusus

$$F_X(-\sim) = 0$$

dan

$$F_X(\sim) = 1$$

Jika diterapkan pada contoh variabel kuat tekan beton f_c , maka grafik PMF dan CDF dapat dilihat pada Gambar 7.18



Gambar 7.18 PMF dan CDF Variabel Kuat Tekan Beton f_c

Jika variabel random dianggap mempunyai suatu distribusi konfinu, maka hubungan antara PDF dan CDF adalah

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x) dx \quad (7.26)$$

atau

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx}$$

Jika diterapkan pada variabel yang mempunyai distribusi normal, maka perhitungan dapat dibantu dengan tabel (terlampir) yang dibuat berdasarkan distribusi normal standar $N[0,1]$ dalam persamaan 5.11b dan persamaan 7.26

$$\Phi(s_p) = p = \int_0^{s_p} \exp\left\{-\frac{1}{2}s^2\right\} ds \quad (7.27a)$$

dan inversinya

$$s_p = \Phi^{-1}(p)$$

Beberapa rumus turunan yang disebabkan sifat simetri pada $s = 0$ dari distribusi normal adalah

$$\Phi(-s) = 1 - \Phi(s) \quad (7.27b)$$

dengan cara yang sama, untuk harga yang terkait $p < 0.5$ didapat

$$s = \Phi^{-1}(p) = -\Phi^{-1}(1 - p) \quad (7.28c)$$

Sebagai contoh, variabel kuat tekan beton f_c pada contoh 2, jika dianggap mempunyai distribusi kontinu berupa distribusi normal dengan $f_c [31.867, 1.707]$ MPa, maka PDF dan CDF dapat dilihat pada pada Tabel 7.4 dan Gambar 7.19

Perbandingan antara data-data variabel random kuat tekan f_c pada contoh 2 dapat dilihat pada Gambar 7.20.

Hal lain yang bisa didalami lebih lanjut adalah kemungkinan kejadian X dalam suatu rentang data tertentu ($x = a$ sampai $x = b$). Hal ini menjadi penting dalam hal pencocokan distribusi kontinu dengan data pengamatan, dan pengambilan keputusan berdasarkan suatu resiko tertentu. Perumusan hal ini adalah

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx \quad (7.29)$$

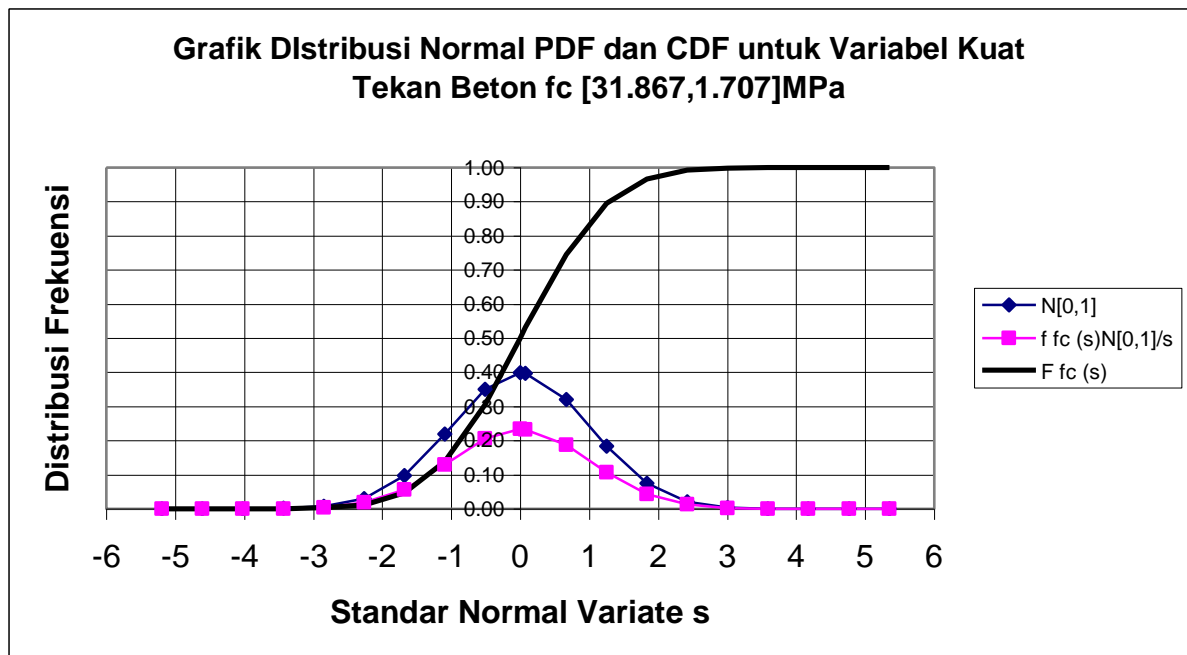
Jika PDF merupakan distribusi normal

$$P(a < X \leq b) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] dx \quad (7.30)$$

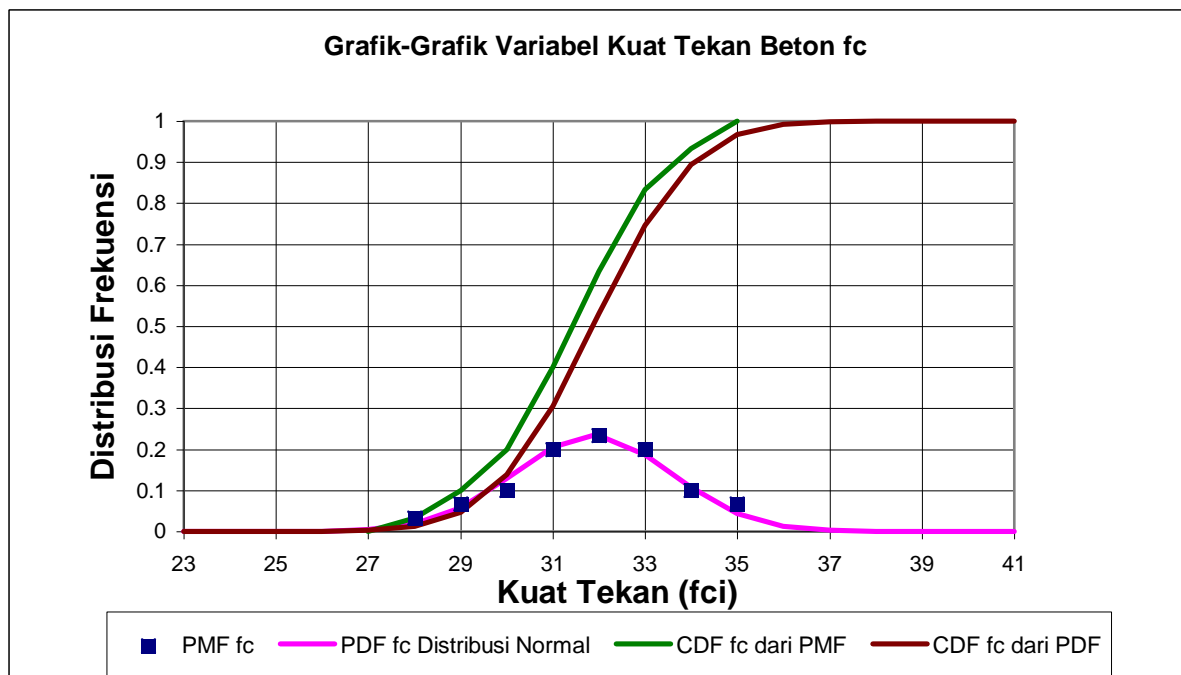
maka perhitungan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai luas kurva dibawah PDF normal antara a dan b seperti terlihat pada Gambar 7.21

Tabel 7.4 Perhitungan CDF dari PDF Variabel Kuat Tekan Beton f_c

f_{ci} MPa	s	f f_c (s)[0,1]	f f_c (f_{ci})	Φ (s)	$\Phi (-s)=1-\Phi (s)$	F f_c (s)
23	-5.19278	0.000001	0.000000		0.000000	0.000000
24	-4.60713	0.000010	0.000006		0.000002	0.000002
25	-4.02147	0.000123	0.000072		0.000032	0.000032
26	-3.43582	0.001090	0.000638	0.999698	0.000302	0.000302
27	-2.85017	0.006869	0.004023	0.997184	0.002816	0.002816
28	-2.26452	0.030716	0.017989	0.988089	0.011911	0.011911
29	-1.67887	0.097468	0.057082	0.952540	0.047460	0.047460
30	-1.09322	0.219480	0.128539	0.862143	0.137857	0.137857
31	-0.50756	0.350728	0.205404	0.694750	0.305250	0.305250
31.86667	0	0.398944	0.233642	0.500000	0.500000	0.500000
32	0.078087	0.397730	0.232931	0.531882		0.531882
33	0.663738	0.320073	0.187451	0.745374		0.745374
34	1.24939	0.182789	0.107051	0.894350		0.894350
35	1.835042	0.074079	0.043385	0.967116		0.967116
36	2.420693	0.021305	0.012477	0.992240		0.992240
37	3.006345	0.004348	0.002547	0.998694		0.998694
38	3.591997	0.000630	0.000369	0.999835		0.999835
39	4.177648	0.000065	0.000038	0.999987	0.000013	0.999987
40	4.7633	0.000005	0.000003	1.000000	0.000000	1.000000
41	5.348951	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000



Gambar 7.19 Penentuan CDF dari PDF dan Distribusi Normal Standar



Gambar 7.20 Perbandingan PMF, PDF, CDF dari PMF dan CDF dari PMF Variabel Kuat Tekan Beton f_c

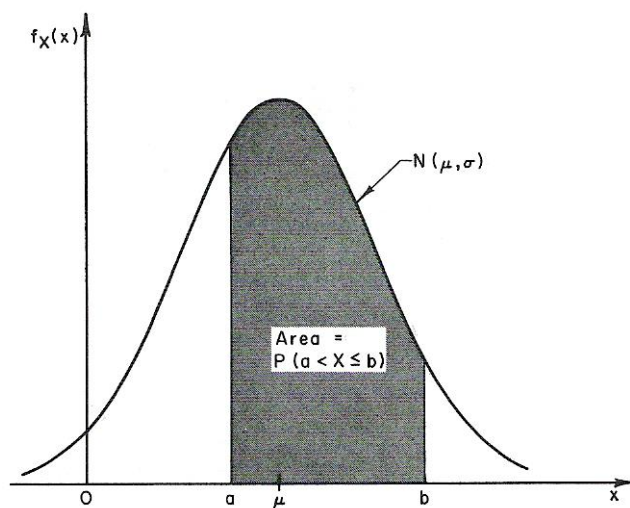


Figure 3.7 PDF for $N(\mu, \sigma)$

Gambar 7.21 PDF $N(\mu, \sigma)$ dan Kemungkinan Kejadian antara Dua Batas

Jika diambil substitusi sebagai berikut

$$s = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \quad \text{dan} \quad dx = \sigma ds$$

maka persamaan 7.30 menjadi

$$P(a < x \leq b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{(a-\mu_x)/\sigma}^{(b-\mu_x)/\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}s^2\right] \sigma ds$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(a-\mu_x)/\sigma}^{(b-\mu_x)/\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}s^2\right] ds$$

yang merupakan bentuk distribusi normal standar $N[0,1]$ dari $(a - \mu_x)/\sigma$ sampai ke $(b - \mu_x)/\sigma$, sehingga dapat menggunakan Tabel Distribusi Normal

$$P(a < X \leq b) = \Phi\left(\frac{b - \mu_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu_x}{\sigma_x}\right) \quad (7.31)$$

Contoh 1 : Berapa kemungkinan terjadinya mutu beton antara 29 MPa dan 32 MPa pada kuat tekan beton yang mempunyai parameter distribusi normal [31.867,1.707] MPa ?

$$P(29 < f_c \leq 32) = \Phi\left(\frac{32 - 31.867}{1.707}\right) - \Phi\left(\frac{29 - 31.867}{1.707}\right)$$

$$P(29 < f_c \leq 32) = \Phi(0.077) - \Phi(-1.679)$$

$$P(29 < f_c \leq 32) = \Phi(0.077) - (1 - \Phi(1.679))$$

$$P(29 < f_c \leq 32) = 0.531882 - (1 - 0.953521)$$

$$P(29 < f_c \leq 32) = 0.485403 \text{ atau } 48.5 \%$$

Contoh 2 : Berapa kemungkinan terjadinya mutu beton dibawah 30 MPa pada kuat tekan beton yang mempunyai parameter distribusi normal [31.867,1.707] MPa ?

$$P(-\sim < f_c \leq 30) = \Phi\left(\frac{30 - 31.867}{1.707}\right) - \Phi\left(\frac{-\sim - 31.867}{1.707}\right)$$

$$P(-\sim < f_c \leq 30) = \Phi(-1.093) - \Phi(-\sim)$$

$$P(-\sim < f_c \leq 30) = (1 - \Phi(1.093)) - (1 - \Phi(\sim))$$

$$P(-\sim < f_c \leq 30) = (1 - 0.862143) - (1 - 1)$$

$$P(-\sim < f_c \leq 30) = 0.137857 \text{ atau } 13.78\%$$

Angka ini dikenal juga sebagai resiko kegagalan, jadi jika angka $f_c = 30$ MPa diambil mewakili variabel random f_c , ada resiko kegagalan 13.78%

Contoh 3 : Kuat tekan karakteristik beton (f_c') didefinisikan sebagai kuat tekan yang mempunyai resiko kegagalan 5%. Berapakah harga f_c' pada variabel kuat tekan beton yang mempunyai distribusi normal [31.867,1.707] MPa ?

$$P(f_c \leq f_c') = 0.05$$

$$\Phi\left(\frac{f_c' - 31.867}{1.707}\right) = 0.05$$

$$\frac{f_c' - 31.867}{1.707} = \Phi^{-1}(0.05) = -\Phi^{-1}(1 - 0.05) = -\Phi^{-1}(0.95) = -1.64$$

$$f_c' = 31.867 - 1.64(1.707) = 29.067 \text{ MPa}$$

Jadi kuat tekan karakteristik dari beton yang mempunyai parameter distribusi normal [31.867,1.707] MPa adalah $f_c' = 29.067$ MPa

5.2 Variabel Random Ganda

CDF untuk variabel random ganda disebut CDF gabungan (*joint CDF*) dengan definisi formal untuk variabel random X dan Y

$$F_{X,Y}(x,y) = P(X \leq x, Y \leq y) \quad (7.32)$$

Beberapa sifat dan harga khusus dari fungsi ini adalah

- a. $F_{X,Y}(-\infty, -\infty) = 0$; $F_{X,Y}(\infty, \infty) = 1$
- b. $F_{X,Y}(-\infty, y) = 0$; $F_{X,Y}(\infty, y) = F_Y(y)$
- c. $F_{X,Y}(x, -\infty) = 0$; $F_{X,Y}(x, \infty) = F_X(x)$
- d. $F_{X,Y}(x,y) > 0$ dan merupakan fungsi naik dari x & y

Jika CDF diperoleh dari variabel random yang mempunyai distribusi frekuensi deskrit (PMF), maka persamaan 7.32 dapat dituliskan sebagai

$$F_{X,Y}(x,y) = \sum_{|x_i \leq x, y_i \leq y|} p_{X,Y}(x_i, y_i) \quad (7.33)$$

Besarnya kemungkinan kejadian ($X = x$) dapat tergantung pada harga Y dan sebaliknya, maka sesuai pengembangan persamaan 7.16 dapat didefinisikan PMF yang terkondisi (*conditional PMF*).

$$P_{X|Y}(x|y) = P(X = x | Y = y) = \frac{p_{X,Y}(x, y)}{p_Y(y)} \quad (7.34)$$

Jika $p_Y(y) \neq 0$

Dengan cara yang sama

$$P_{Y|X}(y|x) = P(Y = y | X = x) = \frac{p_{X,Y}(x, y)}{p_X(x)} \quad (7.35)$$

Jika $p_X(x) \neq 0$

Jika CDF diperoleh dari variabel random yang mempunyai distribusi frekuensi kontinu (PDF), maka persamaan 7.32 dapat dituliskan sebagai

$$F_{X,Y}(x, y) = \int \int f_{X,Y}(u, v) dv du \quad (7.36)$$

sebaliknya jika ada turunan parsialnya

$$f_{X,Y} = \frac{\partial^2 F_{X,Y}(x, y)}{\partial x \partial y} \quad (7.37)$$

dan juga

$$P(a < X \leq b, c < Y \leq d) = \int_a^b \int_c^d f_{X,Y}(u, v) dv du \quad (7.38)$$

yang merupakan volume dari permukaan PDF $f_{X,Y}(x,y)$ seperti terlihat pada Gambar 7.22

Analog dengan persamaan 7.34 dan 7.35 dapat didefinisikan PDF yang terkondisi (*conditional PDF*) sebagai berikut

$$f_{X|Y}(x|y) = \frac{f_{X,Y}(x, y)}{f_Y(y)} \quad (7.39)$$

atau

$$f_{X,Y}(x,y) = f_{X|Y}(x,y) f_Y(y) \quad (7.40)$$

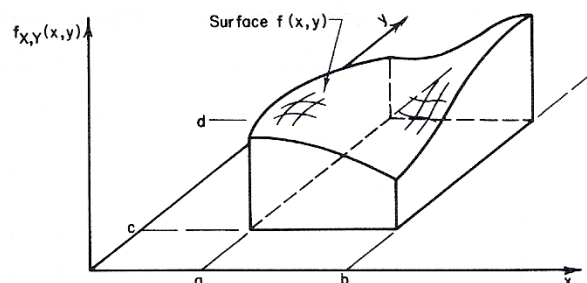


Figure 3.13 Joint PDF of X and Y

Gambar 7.22 PDF Gabungan Variabel X dan Y

dan

$$f_{Y|X}(y|x) = \frac{f_{X,Y}(x,y)}{f_X(x)} \quad (7.40)$$

atau

$$f_{X,Y}(x,y) = f_{Y|X}(y|x)f_X(x)$$

Jika X dan Y adalah variabel random yang indenpenden secara statistik, maka

$$\begin{aligned} f_{X|Y}(x|y) &= f(x) \\ f_{Y|X}(y|x) &= f(y) \end{aligned}$$

jadi dari persamaan (7.39) dan (7.40)

$$f_{X,Y}(x,y) = f_X(x) f_Y(y) \quad (7.41)$$

Dengan menerapkan teorema probablilitas total, didapat fungsi kerapatan marginal (*marginal density function*) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} f(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_{X|Y}(x|y)f_Y(y)dy \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_{X,Y}(x,y)dy \end{aligned} \quad (7.42)$$

dan dengan cara yang sama

$$f_Y(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{X,Y}(x,y)dx \quad (7.43)$$

BAB VIII

PENENTUAN DATA PARAMETER VARIABEL RANDOM DARI DATA PENGAMATAN DAN AKURASINYA

1. Umum

Pada analisis kuantitatif, salah satu ciri penting adalah asumsi bahwa suatu fenomena mempunyai suatu kondisi “ideal”. Pada kondisi real, terkadang kita tidak bisa mencatat secara sempurna kondisi tersebut, sehingga terjadilah deviasi antara kondisi real dan ideal.

Pada fenomena random, kondisi ideal dideskripsikan sebagai distribusi frekuensi yang kontinu. Kondisi real adalah hal-hal yang diperoleh dari pengamatan, sehingga dalam teori statistik dan probabilitas, masalah keakuratan data pengamatan dan jumlah sampel data.

Ada dua hal mendasar yang akan dibahas pada sub bab ini. Hal pertama adalah bagaimana menentukan keakuratan parameter yang diperoleh dari data pengamatan terhadap parameter distribusi kontinu yang ideal, sedangkan hal yang kedua adalah uji validitas suatu asumsi distribusi kontinu terhadap suatu fenomena random yang diamati.

Ada 4 (empat) besaran yang menjadi ukuran keakuratan parameter dari data pengamatan terhadap parameter dalam kondisi ideal yaitu : ketidakbiasan (*unbiasedness*), konsistensi (*consistency*), efisiensi (*efficiency*), kecukupan (*sufficiency*). Pengambilan data Parameter Variabel Random dari Data Pengamatan

2. Penentuan Parameter dari Data Pengamatan

Ada dua dasar dalam penentuan data parameter dari pengamatan, yaitu metoda momen (*The method of moment*) dan metoda kesesuaian maksimum (*The method of maximum likelihood*).

2.1 Metoda Momen

Dalam teori statistik pada Bab VI, kita melihat nilai rata-rata dan varians adalah parameter utama yang mendeskripsikan variabel random. Parameter ini berhubungan dengan parameter dari distribusi kontinu seperti tercantum pada Tabel 5.5, sehingga dapat disimpulkan bahwa kita harus mengestimasi dulu nilai rata-rata dan varians (atau momen yang lebih tinggi) dari variabel random. Hal ini merupakan dasar dari metoda momen.

Nilai rata-rata estimasi adalah

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.1)$$

Kondisi dimana harga rata-rata dari estimasi parameter dianggap sama dengan parameter distribusi, disebut kondisi “tidak bias” (*unbiased*). Kondisi data-data individual terhadap parameter dengan tidak diperhatikan.

Estimasi varians yang “bias” adalah

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8.2)$$

sedangkan varians yang “tidak bias” adalah

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8.3)$$

atau

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - n\bar{x}^2)$$

Jika jumlah data pengamatan besar, maka persamaan 6.45 dan 6.46 relatif akan sama.

2.2 Metoda Kesesuaian Maksimum

Metoda kesesuaian maksimum merupakan metoda yang lebih populer karena diturunkan dengan memperhatikan pengaruh data-data individual terhadap parameter nilai rata-rata, walau terkadang formula akhirnya sama dengan metoda momen. Jika suatu variabel random mempunyai fungsi distribusi frekuensi (PDF) $f(x; \theta)$, dimana θ merupakan salah satu parameter distribusi kontinu yang ideal, maka prinsip metoda ini adalah diantara harga θ yang mungkin, harga manakah yang paling sesuai dengan data-data pengamatan x ?

Kesesuaian parameter terhadap data pengamatan dapat diasumsikan proporsional terhadap harga frekuensi kemunculan (PDF) di x_i , kemudian dengan asumsi sampel random, dengan kesesuaian yang diambil dari n pengamatan independen x_1, \dots, x_n adalah

$$L(x_1, \dots, x_n; \theta) = f(x_1; \theta) f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta) \quad (8.4)$$

yang disebut fungsi kesesuaian dari pengamatan data x_1, \dots, x_n . Estimasi kesesuaian maksimum (didapat dengan memaksimumkan fungsi $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$ yang didapat dengan mendiferensiasikan $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$ terhadap θ , dan menyamakannya dengan nol

$$\frac{\partial(L(x_1, \dots, x_n; \theta))}{\partial \theta} = 0 \quad (8.5)$$

Fungsi kesesuaian merupakan fungsi perkalian, sehingga terkadang lebih mudah untuk memaksimalkan secara logaritmik fungsi tersebut.

$$\frac{\partial(\log L(x_1, \dots, x_n; \theta))}{\partial \theta} = 0 \quad (8.6)$$

dengan solusi θ yang sama dengan 8.5.

Jika variabel random mempunyai fungsi distribusi frekuensi (PDF) yang mempunyai 2 parameter atau lebih, maka fungsi kesesuaian menjadi

$$L(x_1, \dots, x_n, \theta_1, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \dots, \theta_m) \quad (8.7)$$

Dimana $\theta_1, \dots, \theta_m$ adalah m parameter yang diestimasi. Pada kasus ini estimasi parameter yang paling sesuai didapat dari solusi persamaan simultan berikut

$$\frac{\partial L(x_1, \dots, x_n; \theta_1, \dots, \theta_m)}{\partial \theta_j} = 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (8.8)$$

Untuk jumlah sampel n yang besar, $n \rightarrow \infty$, parameter estimasi dari metoda kesesuaian maksimum adalah yang terbaik atau juga disebutnya mempunyai konsistensi (*consistency*) yang baik

3. Estimasi Keakuratan Parameter

Bagaimana keakuratan dari estimasi parameter terhadap parameter idealnya ? Hal ini merupakan hal yang penting dalam penelitian yang menggunakan cara observasi. Keakuratan dinyatakan dalam suatu interval kepercayaan (*confidence interval*), yaitu suatu daerah antara estimasi parameter dengan parameter ideal. Metoda penentuan hal ini disebut metoda estimasi interval (*interval estimation*). Pada sub bab ini akan dibahas metoda estimasi interval nilai rata-rata secara umum serta beberapa kondisi khusus seperti varians yang tidak diketahui, interval pada satu sisi, metoda estimasi interval varians, metoda estimasi proporsi, dan teori pengukuran.

3.1 Estimasi Interval Kepercayaan Nilai Rata-rata

Jika suatu variabel random mempunyai himpunan data x_1, x_2, \dots, x_n , dari himpunan ini dapat dibuat suatu himpunan variabel random yang independen X_1, X_2, \dots, X_n , yang fungsi distribusi frekuensinya (PDF) secara individual sama dengan populasi X ;

$$f_{X_1}(x_1) = f_{X_2}(x_2) = \dots = f_{X_n}(x_n) = f_X(x)$$

nilai rata-rata dari sampel ini juga merupakan variabel random

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (8.9)$$

nilai ekspektasinya adalah

$$E(\bar{X}) = E\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i)$$

atau secara perkalian dot

$$E(\bar{X}) = \frac{1}{n} \cdot n\mu = \mu \quad (8.10)$$

Jadi harga ekspektasi dari nilai rata-rata sampel \bar{X} sama dengan rata-rata populasi μ (disebut juga \bar{X} adalah estimasi yang tidak bias dari nilai rata-rata μ).

Jika \bar{X} adalah variabel random, maka akan memiliki varians

$$Var(\bar{X}) = Var\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) = \frac{1}{n^2} Var\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)$$

dimana X_1, X_2, \dots, X_n adalah independen secara statistik sehingga

$$Var(\bar{X}) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n Var(X_i) = \frac{1}{n^2} n\sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n} \quad (8.11)$$

Jadi sesuai dengan persamaan 8.10 dan 8.11 harga rata-rata sampel \bar{X} adalah μ dengan standar deviasi σ/\sqrt{n} .

Jika dilihat lebih lanjut, sesuai dengan *central limit theorem*, untuk jumlah sampel yang banyak maka harga rata-rata sampel \bar{X} akan mengikuti distribusi normal $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$, dengan suatu transformasi sederhana dapat ditunjukkan bahwa $(\bar{X} - \mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ adalah distribusi normal standar. Kurva distribusi frekuensi dari \bar{X} untuk berbagai variasi harga n dapat dilihat dari Gambar 8.1 (Fig 5.3 Ang Tang), dimana terlihat makin banyak jumlah data n , maka kurva akan semakin tajam, yang menunjukkan estimasi menjadi semakin akurat.

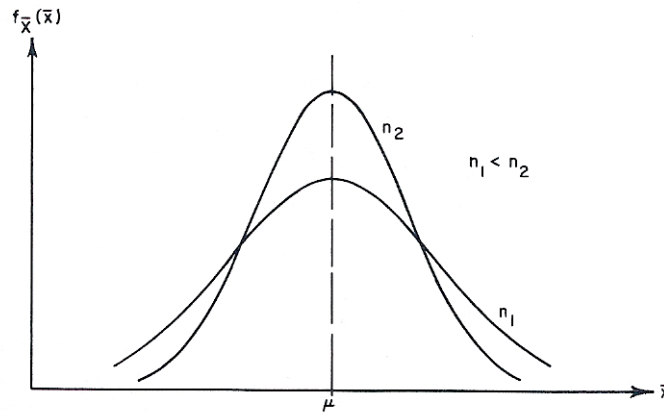


Figure 5.3 Distribution of sample mean

Gambar 8.1 Distribusi dari Variabel Random Nilai Rata-rata terhadap Jumlah Sampel

Interval kepercayaan nilai rata-rata dirumuskan dari suatu tingkat kepercayaan yang ditentukan sebagai $(1 - \alpha)$, dan $\pm k_{\alpha/2}$ sebagai harga distribusi normal standar dengan tingkat kemungkinan kumulatif $\alpha/2$ sampai $(1 - \alpha/2)$ seperti terlihat pada Gambar 8.2

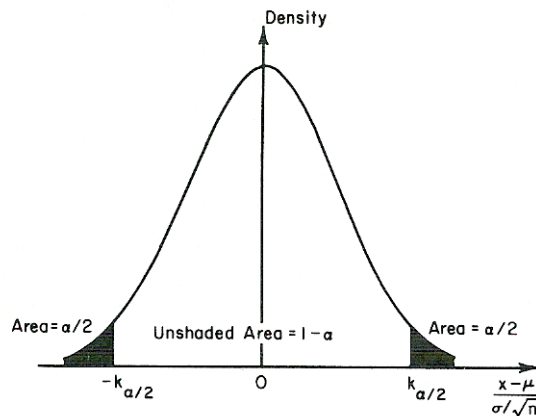


Figure 5.4 Density function of $(\bar{X} - \mu)/(\sigma/\sqrt{n})$

Gambar 8.2 Interval Kepercayaan Nilai Rata-rata

$$P\left(-k_{\alpha/2} < \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} < k_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad (8.12)$$

dengan pengaturan kembali dan substitusi nilai rata-rata sampel yang diamati

$$P\left(\bar{x} - k_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + k_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

Jadi interval kepercayaan $(1 - \alpha)$ dari nilai rata-rata μ didefinisikan sebagai

$$\mu_{1-\alpha} = \left(\bar{x} - k_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} + k_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (8.13)$$

Persamaan ini menunjukkan interval kepercayaan nilai rata-rata μ selain ditentukan jumlah sampel, ditentukan juga oleh standar deviasi. Standar deviasi yang kecil akan meningkatkan kepercayaan nilai rata-rata.

Beberapa hal penting yang perlu dicatat :

1. Jika interval kepercayaan makin besar, maka akan makin besar pula rentang nilainya terhadap nilai rata-rata.
2. Rentang nilai baru dapat ditetapkan jika standar deviasi parameter diketahui. Hal ini bisa dipastikan jika
 - a. Standar deviasi (σ) merupakan nilai keakuratan (angka penting) dari suatu alat ukur
 - b. Standar deviasi (σ) dianggap sama dengan estimasi standar deviasi (s) yang diperoleh dari pengamatan data dalam jumlah yang cukup besar (misalnya $n > 20$)

3.1.1 Interval Kepercayaan dengan Varians yang Tidak Diketahui

Jika data pengamatan tidak banyak (misalnya $n < 10$), maka estimasi standar deviasi dari pengamatan (s) tidak akan terlalu mendekati standar deviasi ideal (σ), sehingga pada kasus ini varians atau standar deviasi dianggap tidak diketahui.

Dasar penurunan persamaan 8.9 sampai 8.13 adalah distribusi frekuensi X adalah distribusi normal. Hal ini benar jika X merupakan pengukuran suatu besaran dengan alat atau jumlah data pengamatan banyak. Jika hal ini tidak terpenuhi, dibutuhkan suatu distribusi frekuensi lain. Penelitian menghasilkan distribusi frekuensi yang cocok untuk kasus ini adalah *t-distribution* dengan ($n - 1$) derajat kebebasan

$$f_T(t) = \frac{\Gamma[(f+1)/2]}{\sqrt{\pi f} \Gamma(f/2)} \left(1 + \frac{t^2}{f} \right)^{-(1/2)(f+1)} \quad \sim < t < \sim \quad (8.14)$$

dimana f adalah derajat kebebasan. Keluarga dari distribusi - t dengan variasi harga f terlihat pada Gambar 8.3. Bentuk distribusi - t sebangun dengan distribusi normal. Jika f kecil, maka bentuk distribusi - t lebih datar dari distribusi normal, sedangkan jika f besar, maka bentuknya mendekati distribusi normal.

ESTIMATING PARAMETERS FROM OBSERVATIONAL DATA

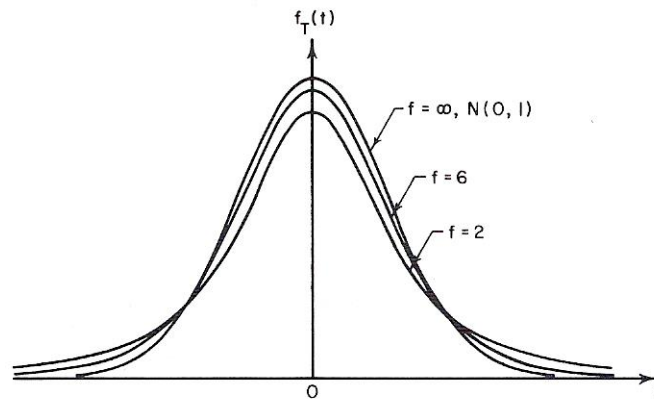


Figure 5.5 Student *t*-distribution

Gambar 8.3 Distribusi-t

Jadi berdasarkan distribusi ini, dapat disusun suatu interval kepercayaan dengan menggunakan estimasi standar deviasi (*s*) yang diperoleh dari jumlah data (*n*) yang sedikit.

$$P\left(-t_{\alpha/2, n-1} < \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}} \leq t_{\alpha/2, n-1}\right) = 1 - \alpha \tag{8.15}$$

dimana $t_{\alpha/2, n-1}$ mempunyai interpretasi yang sama dengan $k_{\alpha/2}$ dalam persamaan 8.12. Harga dari $t_{\alpha/2, n-1}$ dibuat tabel untuk berbagai level kemungkinan $p = (1 - \alpha/2)$ dengan derajat kebebasan $f = n - 1$ yang berberda-beda. Pengaturan kembali persamaan 8.15 menghasilkan interval kepercayaan

$$\mu_{1-\alpha} = \left[\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \right] \tag{8.16}$$

3.1.2 Batas Interval Kepercayaan Satu Sisi

Pada pembahasan sebelumnya interval kepercayaan disebut interval kepercayaan dua sisi karena meliputi batas atas dan batas bawah terhadap nilai rata-rata μ . Pada beberapa kasus hanya dibutuhkan batas bawah saja atau batas atas saja dari nilai rata-rata μ , misalnya pada kasus kekuatan material, kapasitas jalan raya dan saluran air, serta penentuan beban angin pada struktur.

Batas bawah interval kepercayaan, yang diberi notasi $< \mu)_{n-1}$, didefinisikan sebagai populasi harga rata-rata μ akan lebih besar dari batas tersebut dengan interval kepercayaan $(1 - \alpha)$

$$P\left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq k_\alpha\right) = 1 - \alpha \quad (8.17)$$

$$P(\mu \geq \bar{X} - k_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) = 1 - \alpha$$

$$P(\mu < \bar{x} - k_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}})_{1-\alpha} = \left(\bar{x} - k_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (8.18)$$

Batas atas interval kepercayaan yang diberi notasi $(\mu > 1 - \alpha)$ (dengan cara yang sama

EMBED Equation.3
(8.19)

Jika jumlah sampel n sedikit, maka digunakan estimasi standar deviasi s . Untuk batas bawah interval kepercayaan $1 - \alpha$

EMBED Equation.3 (8.20)

dan untuk batas atas interval kepercayaan $1 - \alpha$

EMBED Equation.3 (8.21)

3.2 Interval Estimasi Varians

Estimasi parameter varians atau interval kepercayaan varians σ^2 dari suatu populasi data dapat diturunkan dengan pendekatan yang sama seperti estimasi nilai rata-rata. Jika varians dari sampel dituliskan sebagai

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (8.22)$$

dimana S juga variabel random, maka harga ekspektasinya

$$E(S^2) = \frac{1}{n-1} E\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right]$$

$$E(S^2) = \frac{1}{n-1} E\left[\sum_{i=1}^n ((X_i - \mu) - (\bar{X} - \mu))^2\right]$$

$$E(S^2) = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n E(X_i - \mu)^2 - nE(\bar{X} - \mu)^2 \right]$$

tetapi

$$E(X_i - \mu)^2 = \sigma^2 \quad \text{dan} \quad E(\bar{X} - \mu)^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

sehingga

$$E(S^2) = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \sigma^2 - n \cdot \frac{\sigma^2}{n} \right] = \sigma^2 \quad (8.23)$$

sedangkan varians dari S^2 adalah

$$Var(S^2) = \frac{\sigma^4}{n} \left(\frac{\mu_4}{\sigma^4} - \frac{n-3}{n-1} \right) \quad (8.24)$$

dimana μ_4 adalah momen tengah keempat $\mu_4 = E(X - \mu)^4$. Terlihat bahwa jika jumlah sampel n makin besar, varians dari S^2 akan makin kecil.

Jika jumlah sampel cukup besar, maka penjumlahan variabel random dalam 8.22 dapat dianggap memenuhi *central limit theorem*, sehingga mempunyai distribusi normal dengan nilai rata-rata dan varians dalam 8.23 dan 8.24. Jadi untuk tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$

$$P \left(-k_{\alpha/2} < \frac{S^2 - \sigma^2}{\sqrt{Var(S^2)}} \leq k_{\alpha/2} \right) = 1 - \alpha \quad (8.25)$$

dimana μ_4 dalam 8.24 dapat dihitung pendekatan

$$\mu_4 \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (8.26)$$

sehingga interval kepercayaan mejadi

$$\sigma^2_{1-\alpha} = \left[s^2 - k_{\alpha/2} \sqrt{Var(S^2)}; s^2 + k_{\alpha/2} \sqrt{Var(S^2)} \right] \quad (8.27)$$

Jika populasi mengikuti distribusi normal, varians S^2 dapat disederhanakan

$$Var(S^2) = \frac{2}{n-1} \sigma^4 \quad (8.28)$$

sehingga interval kepercayaan untuk distribusi normal

$$\sigma^2_{1-\alpha} = \left(\frac{s^2}{1 + k_{\alpha/2} \sqrt{2/(n-1)}}; \frac{s^2}{1 - k_{\alpha/2} \sqrt{2/(n-1)}} \right) \quad (8.29)$$

Jika jumlah sampel tidak cukup banyak, diperlukan suatu fungsi distribusi frekuensi variabel normal yang didapat dari penurunan sebagai berikut. Dari persamaan 8.22

$$(n-1)S^2 = \sum_{i=1}^n [(X_i - \mu) - (\bar{X} - \mu)]^2$$

$$(n-1)S^2 = \sum (X_i - \mu)^2 - n(\bar{X} - \mu)^2$$

dengan membagi dengan σ^2 , didapat

$$\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \mu}{\sigma} \right)^2 - \left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \right)^2 \quad (8.30)$$

dimana jika X_i adalah normal, dan maka juga \bar{X} normal. Jadi suku pertama dalam 8.30 merupakan jumlah dari akar dari n variabel yang saling independen dengan distribusi normal standar. Distribusi frekuensi yang dihasilkan dari proses ini dikenal dengan distribusi chi-square dengan n derajat kebebasan (dengan notasi χ_n^2). Suku kedua dalam 8.30 juga akar dari variabel random yang mempunyai distribusi normal standar, sehingga variabel random hasilnya mempunyai distribusi chi-square dengan derajat kebebasan sama dengan satu. Penjumlahan dua variabel dengan distribusi chi square dengan masing-masing p dan q derajat kebebasan akan menghasilkan variabel random yang juga mempunyai distribusi chi-square dengan $(p + q)$ derajat kebebasan. Dengan dasar ini variabel $(n-1)S^2/\sigma^2$ mempunyai distribusi chi-square dengan $(n - 1)$ derajat kebebasan, atau ditulis χ_{n-1}^2 .

Secara umum distribusi chi-square dengan f derajat kebebasan χ_f^2 mempunyai PDF

$$f_c(c) = \frac{1}{2^{f/2} \Gamma(f/2)} c^{(f/2-1)} e^{-c/2} \quad c \geq 0 \quad (8.31)$$

yang grafiknya untuk berbagai harga derajat kebebasan f dapat dilihat pada Gambar 8.4. Jika $f \Rightarrow \infty$, maka bentuk distribusi akan menjadi distribusi normal. Karena derajat kebebasan $f = n - 1$, maka Gambar 8.4 dapat menunjukkan jumlah data yang cukup agar pendekatan persamaan 8.27 dan 8.29 cukup valid, yaitu sekitar $n = 25$.

250 ESTIMATING PARAMETERS FROM OBSERVATIONAL DATA

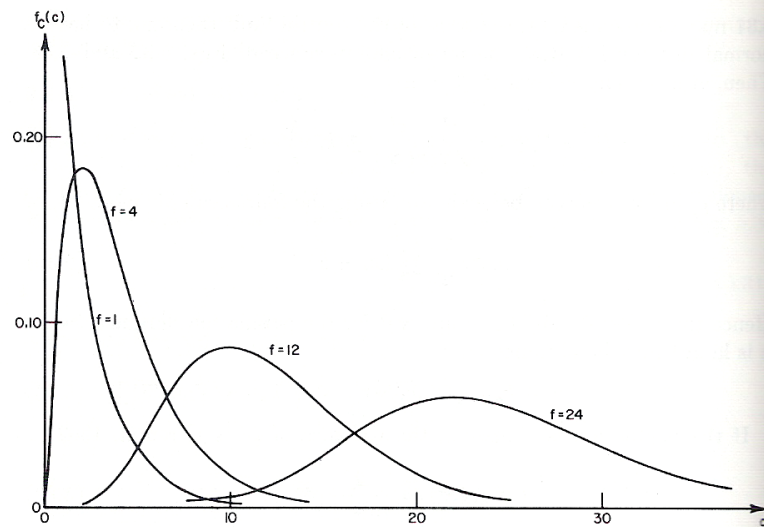


Figure 5.8 Chi-square-distribution with different f

Gambar 8.4 Distribusi Chi-Square pada Beberapa Harga f

Jadi populasi variabel random mengikuti distribusi normal, batas atas interval kepercayaan sesuai dengan distribusi chi-square adalah

$$P\left[\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \geq c_{\alpha, n-1}\right] = 1 - \alpha \quad (8.32)$$

dimana $c_{\alpha, n-1}$ menunjukkan harga χ^2_{n-1} pada kemungkinan kumulatif disitu
 $P(C \leq c_{\alpha, n-1}) = \alpha$

Seperti diilustrasikan pada Gambar 8.5. Harga $c_{\alpha, n-1}$ ditabelkan dalam Tabel A.3 untuk harga α dan $n - 1 = f$

$$(\sigma >_{1-\alpha} = \frac{(n-1)s^2}{c_{\alpha, n-1}} \quad (8.33)$$

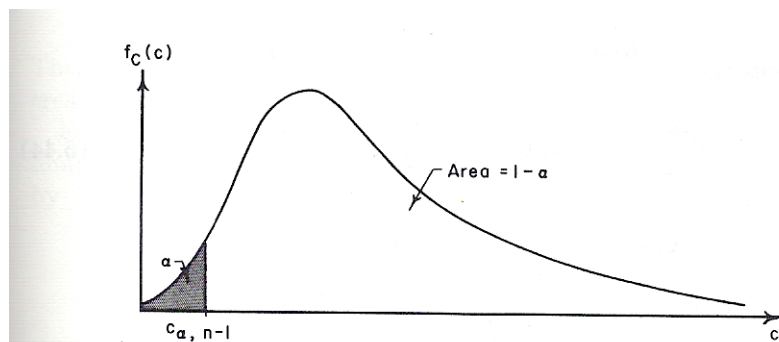


Figure 5.9 Chi-square distribution with $(n - 1)$ degrees of freedom

Gambar 8.5 Distribusi Chi-Square dengan $(n-1)$ Derajat Kebebasan

Batas atas interval kepercayaan ini lebih banyak digunakan dalam kasus-kasus yang menyangkut varians, dibanding misalnya interval kepercayaan dua sisi.

3.3 Estimasi Proporsi

Pada banyak permasalahan rekayasa, diperlukan suatu formulasi kemungkinan terjadinya suatu kejadian berdasarkan penelitian dari pengamatan seperti kemungkinan timbulnya topan dengan intensitas tertentu dalam satu tahun, proporsi kendaraan yang berbelok ke kiri pada suatu persimpangan, proporsi dari material yang memenuhi persyaratan standar.

Pada kasus-kasus tersebut persyaratan kemungkinan kejadian diestimasi dari proporsi munculnya kejadian dalam Urutan Bernoulli (*Bernoulli Sequence*). Misalkan ada urutan dari n percobaan independen X_1, X_2, \dots, X_n dimana tiap X_i merupakan variabel random dengan dua harga, yaitu $X_i = 1$ atau 0 yang mewakili kemunculan atau ketidakhadiran suatu kejadian pada percobaan ke- i . Jadi urutan X_1, X_2, \dots, X_n merupakan sampel random dengan ukuran n .

Kemungkinan terjadinya kejadian p dalam suatu percobaan adalah parameter dalam distribusi binomial. Estimator dari kesesuaian maksimum dari probabilitas ini dapat ditunjukkan sebagai

$$\hat{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (8.34)$$

dimana p adalah proporsi dari kemunculan kejadian dalam urutan n percobaan.

Interval kepercayaan untuk p dapat diturunkan seperti yang sudah dilakukan dalam nilai rata-rata dan varians sebagai berikut :

$$E(\hat{P}) = E\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i)$$

khusus untuk kasus distribusi ini

$$E(X_i) = 1(p) + 0(1-p) = p$$

sehingga

$$E(\hat{P}) = \frac{1}{n} (np) = p \quad (8.35)$$

dan

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{P}) &= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \text{Var}(X_i) \\ \text{Var}(\hat{P}) &= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n [E(X_i^2) - E^2(X_i)] \end{aligned}$$

dimana $E(X_i^2) = p$ sehingga

$$Var(\hat{P}) = \frac{1}{n^2} n(p - p^2) = \frac{p(1-p)}{n} \quad (8.36)$$

sehingga estimator \bar{P} berkisar disekeliling p dengan varians yang mengecil seiring dengan meningkatnya jumlah sampel n

Untuk jumlah sampel n yang besar, P akan mendekati distribusi Gauss sesuai dengan *central limit theorem*, sehingga varians dalam 8.36 dapat didekati dengan

$$Var(\hat{P}) \cong \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n} \quad (8.36a)$$

dimana \hat{p} diperoleh dari proporsi yang diamati dari sampel data.

Jadi interval kelayakan untuk p didapat dari

$$P\left(-k_{\alpha/2} < \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\hat{p}(1-p)/n}} \leq k_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad (8.37)$$

sehingga interval kelayakan $(1 - \alpha)$ adalah

$$p_{1-\alpha} = \left(\hat{p} - k_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}; \hat{p} + k_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}\right) \quad (8.38)$$

Gambar 8.6 adalah grafik yang menunjukkan interval kepercayaan 95% untuk p sebagai fungsi dari proporsi pengamatan p untuk berbagai harga jumlah sampel n .

5.2. CLASSICAL APPROACH TO ESTIMATION OF PARAMETERS 253

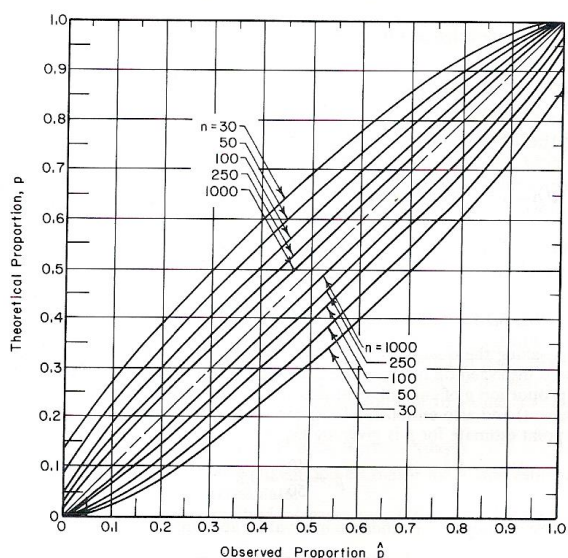


Figure 5.10 95% confidence interval of proportion (after Clopper and Pearson, 1934)

Gambar 8.6 Interval Kepercayaan 95% untuk Proporsi

3.4 Teori Pengukuran

Salah satu penerapan penting dari titik dan estimasi interval kepercayaan adalah dalam teori pengukuran. Hal ini sangat penting mengingat seringkali dalam penelitian harus dilakukan pengukuran terhadap suatu besaran yang menggunakan alat atau metoda tertentu.

Dalam teori pengukuran, secara ideal selalu dinyatakan akan ditemui kesalahan pengukuran (*error*). Kesalahan tersebut dapat disebabkan keterbatasan ketelitian alat (galat), yang disebut juga kesalahan sistematis (*systematic error*), atau kesalahan karena sifat random suatu besaran yang diukur, yang disebut kesalahan random (*random error*). Pada subbab ini pembahasan ditekankan pada kesalahan random, dengan pengertian bahwa kesalahan sistematis telah disesuaikan.

Sebagai contoh adalah pengukuran jarak (δ). Obyek diukur beberapa kali dan menghasilkan data d_1, d_2, \dots, d_n . Titik dan estimasi interval kelayakan akan digunakan untuk memperkirakan nilai jarak "sebenarnya". Dalam kasus ini, δ analog dengan μ , sehingga metoda untuk menentukan harga rata-rata μ dapat diterapkan untuk mengestimasi δ . Misalnya digunakan notasi \bar{d} untuk mengestimasi δ

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (8.39)$$

dengan kata lain, suatu seri pengukuran d_1, d_2, \dots, d_n diasumsikan meprupakan harga dari sampel pengukuran seri variabel-variabel random yang saling

independen D_1, D_2, \dots, D_n yang merepresentasikan populasi dari hasil pengukuran yang mungkin, sehingga titik estimasi δ adalah

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \tag{8.40}$$

dengan harga ekspektasi

$$E(\bar{D}) = \delta \tag{8.41}$$

dan

$$Var(\hat{D}) \cong \frac{s^2}{n} \tag{8.42}$$

Pada teori pengukuran, deviasi standar dari D , yaitu $\sqrt{Var D} \approx (s/\sqrt{n})$ dikenal sebagai kesalahan standar (*standard error*).

Secara implisit persamaan 8.39 sampai 8.42 menggunakan asumsi bahwa D_1, D_2, \dots, D_n adalah independen secara statistik dan mempunyai distribusi yang sama $f_{D1} = f_{D2} = \dots = f_{Dn}$. Lebih jauh lagi distribusi tersebut diasumsikan normal seperti yang didukung dalam pengamatan.

Hal ini mengakibatkan selanjutnya variat $(\bar{D} - \delta)/(S/\sqrt{n})$ mempunyai distribusi-t dengan derajat kebebasan $(n-1)$, sehingga dasar dari interval kepercayaan untuk δ adalah

$$P(-t_{\alpha/2, n-1} < \frac{\bar{D} - \delta}{S/\sqrt{n}} \leq t_{\alpha/2, n-1})$$

sehingga interval kepercayaan $(1 - \alpha)$ untuk δ adalah

$$\delta_{1-\alpha} = \left(\bar{d} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} ; \bar{d} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \tag{8.43}$$

Jika ada sebuah fungsi dari satu atau lebih variabel jarak (atau dimensi geometrik yang dari pengukuran), maka harga fungsi tersebut umumnya diestimasi dalam basis dari pengukuran rata-rata jarak l_1, l_2, \dots, l_n

$$\zeta = Z(l_1, l_2, \dots, l_n)$$

dimana estimasi l_1, l_2, \dots, l_n diperoleh dari pengukuran rata-rata $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_n$, sehingga estimasi titik ζ adalah

$$\bar{Z} = Z(\bar{L}_1, \bar{L}_2, \dots, \bar{L}_n) \tag{8.44}$$

dimana \bar{L}_i adalah estimasi dari l_i sesuai dengan persamaan 8.40. Estimasi Z selanjutnya juga variabel random dengan

$$E(Z) \approx Z [E(\bar{L}_1), E(\bar{L}_2), \dots, E(\bar{L}_n)] = \zeta \tag{8.45}$$

dan dalam tinjauan kesalahan \bar{L}_i , kesalahan standar dalam \bar{Z} dengan asumsi $L_1, \bar{L}_2, \dots, \bar{L}_n$ independen, sesuai dengan persamaan 6.30

$$\text{Var}(Z) \cong \sum_{i=1}^k \frac{\partial \bar{Z}}{\partial L_i} \sigma_{L_i}^2 \quad (8.46)$$

yang dikenal sebagai kesalahan turunan (*propagation of errors*) dalam teori pengukuran.

Kemudian dengan mengasumsikan \bar{Z} mempunyai distribusi normal dengan harga rata-rata ζ dan deviasi standar $\sigma_{\bar{Z}} = \sqrt{\text{Var}(\bar{Z})}$ kita mendapatkan interval kepercayaan untuk ζ adalah sbagai berikut

$$P\left(-k_{\alpha/2} < \frac{\bar{Z} - \zeta}{\sigma_{\bar{Z}}} \leq k_{\alpha/2}\right)$$

dimana interval kepercayaan $(1 - \alpha)$

$$\zeta_{1-\alpha} = (\bar{Z} - k_{\alpha/2} \sigma_{\bar{Z}} ; \bar{Z} + k_{\alpha/2} \sigma_{\bar{Z}}) \quad (8.47)$$

dimana $\bar{z} = Z(\bar{L}_1, \bar{L}_2, \dots, \bar{L}_n)$

4. Uji Keakuratan Fungsi Distribusi Frekuensi (PDF)

Ketika suatu distribusi frekuensi teoritis diasumsikan terhadap suatu variabel random, misalnya dengan dasar bentuk umum dari histogram atau plot data, validitas dari asumsi distribusi diverifikasi secara statistik dengan uji keakuratan . Ada dua jenis uji yang biasa digunakan, yaitu Uji Chi-Square yang menggunakan PDF sebagai dasar, dan Uji Kolmogorov-Smirnov (K-S Test) yang menggunakan CDF sebagai dasar.

4.1 Uji Chi-Square

Jika suatu sampel terdiri dari n data pengamatan, uji chi-square adalah membandingkan frekuensi distribusi n_1, n_2, \dots, n_k dari harga-harga k (atau dalam interval k) dari variat dengan frekuensi distribusi e_1, e_2, \dots, e_n dari asumsi distribusi teoritis. Dasar dari penilaian ketepatan ini adalah membandingkan harga distribusi dari

$$\sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i}$$

terhadap distribusi chi-square (χ^2) dengan $(f = k - 1)$ derajat kebebasan pada $n \Rightarrow \sim$. Jika parameter dari model teoritis tidak diketahui dan harus diestimasi dari

data pengamatan, maka pernyataan di atas tetap berlaku jika derajat kebebasan dikurangi satu untuk tiap parameter yang tidak diketahui yang harus diestimasi. Berdasarkan hal tersebut, jika suatu distribusi diasumsikan akan menghasilkan

$$\sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} < c_{1-\alpha, f} \quad (8.48)$$

dimana $c_{1-\alpha, f}$ adalah harga dari distribusi χ^2 (di PDF) pada tingkat kumulatif distribusi (CDF) $1 - \alpha$, maka sumsi teoritis distribusi tersebut adalah model yang dapat diterima dengan tingkat ketepatan α . Dalam menerapkan test chi-square, secara umum jumlah data yang diperlukan adalah $k_i \geq 5$ dan $e_i \geq 5$.

Hal yang perlu dicatat dalam uji ini adalah tidak bisa memberikan informasi yang mutlak mengenai validitas dari suatu asumsi distribusi mengingat pemilihan sembarang dari tingkat ketepatan α . Sebagai contoh, suatu distribusi yang diuji dengan berhasil pada suatu tingkat ketepatan tertentu, bisa menjadi tidak berhasil pada tingkat ketepatan lain. Uji ini lebih tepat untuk membandingkan secara relatif ketepatan dari dua distribusi asumsi terhadap suatu data pengamatan.

4.2 Uji Kolmogorov-Smirnov (K-S)

Uji ini mendasarkan atas perbandingan antara frekuensi kumulatif dari data dengan suatu asumsi fungsi distribusi (CDF) . Untuk sampel dengan n jumlah data, dilakukan pengaturan kembali data pengamatan dari harga kecil ke harga besar. Dari data yang telah berurutan ini, dapat dibuat suatu fungsi tangga kumulatif frekuensi sebagai berikut.

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{k}{n} & x_k \leq x < x_{k+1} \\ 1 & x \geq x_n \end{cases} \quad (8.49)$$

dimana x_1, x_2, \dots, x_n adalah harga data sampel yang berurutan, n adalah jumlah data sampel. Gambar 8.7 menunjukkan plot dari $S_n(x)$ dan juga usulan fungsi distribusi teoritis CDF $F(x)$. Dalam Uji Kolmogorov-Smirnov, perbedaan maksimum antara $S_n(x)$ dan $F(x)$ dalam selurung rentang harga X adalah ukuran selisih antara model teoritis dan data pengamatan. Perbedaan maksimum ini ditulis sebagai

$$D_n = \max_x |F(x) - S_n(x)| \quad (8.50)$$

278 *EMPIRICAL DETERMINATION OF DISTRIBUTION MODELS*

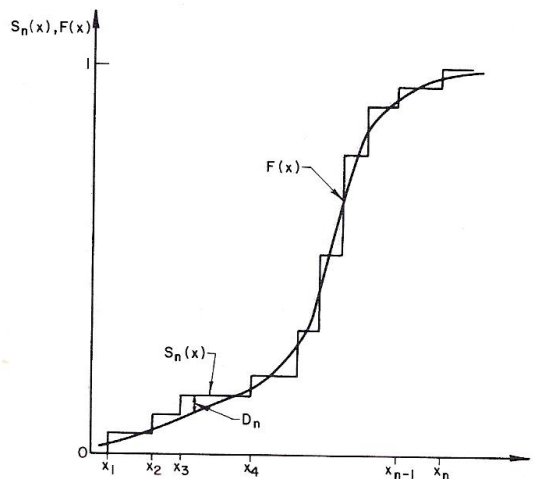


Figure 6.2 Empirical cumulative frequency vs. theoretical distribution function

Gambar 8.7 Frekuensi Kumulatif Empiris dan Fungsi Distribusi Teoritis (CDF)

secara teoritis, D_n adalah variabel random yang distribusi frekuensinya tergantung pada n . Untuk suatu tingkat ketepatan tertentu α , uji K-S membandingkan harga perbedaan maksimum yang didapat dalam 8.50 dengan harga kritis D_n^α yang didefinisikan sebagai

$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha$$

Harga kritis D_n^α untuk berbagai tingkat ketepatan α ditabulasi dalam Tabel A.4 untuk berbagai harga n . Jika harga D_n yang diamati lebih kecil dari harga kritis D_n^α , distribusi yang diusulkan dapat diterima pada tingkat ketepatan yang ditentukan α .

Keunggulan dari Uji K-S terhadap Uji Chi-square adalah tidak diperlukannya pembagian data dalam interval, sehingga permasalahan yang terkait dengan pendekatan chi-square untuk harga e_i yang kecil dan atau harga interval k yang kecil tidak akan dijumpai pada uji K-S.