

ISSN 1412 - 8810
Vol. X, No.1, 2011

JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani

JURNAL TEKNIK

Vol. X, No.1, 2011

- Ketua Dewan Editor : Prof. Waspodo, Ir.
- Dewan Redaksi : Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo
 Prof. Dr. R. J. Widodo
 Dr. Ing. Ir. Soepono Adi Dwiwanto
 Dr. TMA. Ari Samdhi Ir., M.Sc.
 Sumargo, Ir., M.Sc., Ph.D
 Endang Padminingsih Ir., M.Sc.
 Dr. Ir. Oviyan Patra M.Sc.
- Editor : Pawawoi, ST, MT
 (Redaksi Pelaksana) Rinto Yusriski, ST, MT
- Distribusi dan Kesekretariatan : Drs. Danang Kunjono

Harga Langganan per Tahun

- Instansi : Rp. 45.000,-
 Pribadi : Rp. 40.000,-

Alamat Penyunting dan Tata Usaha

Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
 Jl. Jend. Gatot Subroto (Samping PT PINDAD)
 Telp. (022) 7312741 ; Fax. (022) 7309433
 E-mail : cyu517@yahoo.com

No. Rek. Jurnal Teknik FT Unjani : BRI, 1107-01-001355-50-4

Jurnal Teknik – Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani Frekuensi terbit Jurnal Teknik dalam satu volume sebanyak 2 nomor per tahun pada setiap bulan : April dan November. Penerbitan perdana Volume I Nomor 1 pada Mei 2002

Pengantar Redaksi

Respon yang semakin tinggi dari civitas akademika Unjani mengiringi penerbitan Jurnal Teknik Volume IX No 2 tahun 2010, yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya naskah yang diterima oleh Dewan Redaksi. Sejumlah naskah tidak dapat diterbitkan pada edisi ini karena masih dalam proses review oleh penyunting ahli dan juga adanya keterbatasan ruang pada terbitan volume IX No 2 tahun 2010.

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan kontributor yang telah mengirimkan naskahnya, dan semoga pemuatan karyanya dalam Jurnal Teknik dapat menjadi pemicu untuk melahirkan karya-karya lain yang lebih bergairah dengan ide-ide *original* dan bermanfaat untuk masyarakat.

Selamat bekerja, dan semoga Allah swt meridhai karya-karya kita.

Bandung,

Dewan Redaksi

JURNAL TEKNIK

Vol. X, No.1, 2011

DAFTAR ISI

- Analisis Dampak Lalu Lintas Akibat Pengoprasian
Baros Information Technology Creative (BITC) Di Kota Cimahi** 1-12
Oleh : Ferry Rusgitarto, Ir., MT Benrianto Sidauruk, ST., Arnold, ST.
- Susut Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Saluran
Distribusi Tegangan Rendah** 13-22
Oleh : Een Taryana
- Perancangan Penentuan Orientasi Lokasi Penempatan Strain Gage
Pada Elemen Elastik Dinamometer Spindel** 23-37
Oleh : H. Ai Ruchiat Ir. MT.
- Analisis Aspek Mekanis Kegagalan Proses *Hot Rolling* pada
Pembuatan Pelat Kuningan Hasil Coran** 38-47
Oleh : Pradoto Ambarli
- Pemanfaatan limbah Abu batubara untuk Mensubstitusi pada
Komposisi Bodi Ubin Keramik Dinding** 48-56
Oleh : Ate Romli
- Perancangan Produk Mesin *Mixer* Plastik Dengan Metode Rasional
(studi Kasus Di Stasiun Kerja *Extruder* Pt. Prima Gracindo Velcro)** 57-75
Oleh : Zaenal Mutaqien, M. Gusadi

Analisis Dampak Lalu Lintas Akibat Pengoperasian *Baros Information Technology Creative (BITC)* Di Kota Cimahi

Ferry Rusgriyanto, Ir., MT.

Berrianto Sidauruk, ST.

Arnold, ST.

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Tuntutan untuk memenuhi kebutuhan merupakan salah satu alasan dasar bagi setiap orang untuk melakukan pergerakan. Pergerakan itu sendiri merupakan pergerakan yang berasal dari rumah atau tempat lainnya dimana kebutuhan mereka akan terpenuhi. Misalnya sekolah, kantor, pasar atau sebaliknya. pengoperasian *Baros Information Technology Creative (BITC)* akan menyebabkan bangkian dan tarikan. Pergerakan ini akan membebani jalan di sekitarnya sehingga akan meningkatkan jumlah arus kendaraan di sekitar jalan H.M.S. Mintaredja, baik terhadap kinerja ruas maupun kinerja simpang.

Tujuan dari Penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja ruas maupun simpang pada jalan H.M.S. Mintaredja sebelum beroperasinya BITC maupun setelah beroperasinya BITC. Identifikasi dampak pengoperasian *Baros Information Technology Creative (BITC)* terhadap kinerja ruas dan simpang di sepanjang jalan H.M.S. Mintaredja, serta memberikan alternatif usulan untuk mengurangi dampak lalu lintas tersebut.

Hasil dari analisis adalah pertumbuhan volume lalu lintas pada ruas dan simpang di sepanjang Jl. HMS Mintaredja akibat pengoperasian *Baros Information Technology Creative (BITC)* dan hambatan simpang dari kendaraan yang keluar masuk dari BITC tersebut.

Hasil kajian pengaruh *Baros Information Technology Creative* terhadap kinerja simpang tidak signifikan, dan terhadap ruas juga tidak bermasalah dengan asumsi pelarangan parkir di badan jalan dalam kondisi eksisting. Untuk lima tahun mendatang simpang akan bermasalah dengan derajat kejenuhan lebih dari 0,85 maka perlu dilakukan usulan penanganan seperti yang diusulkan di dalam penelitian ini dengan alternatif usulan untuk meningkatkan kinerja simpang seperti : pemberlakuan sinyal lalu lintas (LTOR dan belok kanan terpisah), pelebaran pendekat, dan menghilangkan median di simpang Leuwigajah.

Kata kunci : *Baros Information Technology Creative, kinerja, simpang dan derajat kejenuhan*

1 Pendahuluan

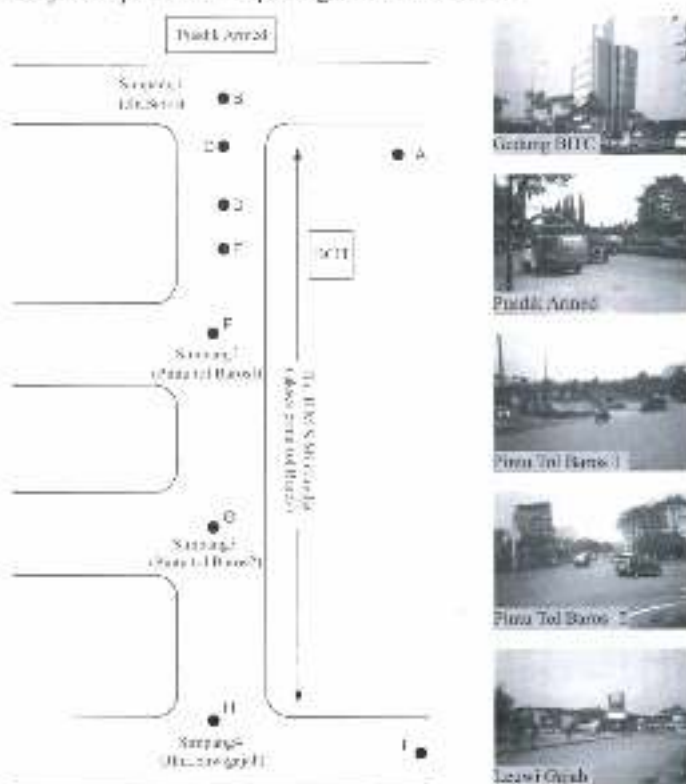
Lalu lintas terjadi karena adanya kebutuhan manusia untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lain. Kebutuhan akan perpindahan ini disebabkan manusia memiliki kegiatan untuk memenuhi kebutuhan hidup baik jasmani maupun rohani. Dengan semakin bertambahnya jumlah manusia serta semakin meningkatnya interaksi antar manusia itu sendiri, maka peningkatan kebutuhan akan lalu lintas terutama sarana dan prasarana semakin berkembang.

Jenis tata guna lahan yang berbeda (permukiman, pendidikan, dan komersial) mempunyai ciri bangkitan lalu lintas yang berbeda. Bangkitan pergerakan bukan saja beragam dalam jenis tata guna lahan, tetapi juga tingkat aktivitasnya. Semakin tinggi tingkat penggunaan sebidang tanah, semakin tinggi pergerakan arus lalu lintas yang dihasilkannya. Salah satu ukuran intensitas aktivitas sebidang tanah adalah kepadatannya. Bangkitan pergerakan memperlihatkan banyaknya lalu lintas yang dibangkitkan oleh setiap tata guna lahan, sedangkan sebaran pergerakan menunjukkan ke mana dan dari mana lalu lintas tersebut.

Semakin banyaknya jumlah penduduk yang bertempat tinggal dalam suatu wilayah yang tidak disertai dengan penambahan fasilitas yang memadai akan menimbulkan masalah baru. Keadaan ini sangat kelihatan dari kondisi lalu lintas yang menumpuk pada lokasi-lokasi tertentu. Dalam waktu yang hampir bersamaan menggunakan dan membutuhkan moda angkutan umum, prasarana jalan dan lain-lain. Hal ini merupakan kasus atau masalah umum dalam transportasi yang harus segera ditanggulangi.

Pemilihan lokasi suatu pembangunan juga salah satu faktor yang harus mendapat perhatian khusus, karena kondisi lingkungan suatu pembangunan dalam struktur kota akan dapat mempengaruhi perkembangan kota tersebut. Seperti pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk menganalisis dampak lalu lintas akibat pembangunan "*BITC*" tersebut.

Maksud dan tujuan penulisan laporan penelitian ini adalah menganalisis dampak lalu lintas yang terjadi akibat pengoperasian gedung "*BITC*" dengan memperhitungkan jumlah bangkitan dan tarikan dari gedung tersebut lalu menyimulasikan kinerja jaringan jalan sebelum dan sesudah pengoperasian gedung *Baros Information Technology Creative*. Lokasi survei dan kajian diperlihatkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Lokasi Survei dan Kajian

2 Kajian Pustaka USTAKA

2.1 Perencanaan Transportasi

Dalam konsep perencanaan transportasi, diperlukan model sebagai salah satu alat bantu. Model adalah alat bantu atau media yang dapat digunakan untuk mencerminkan dan menyederhanakan suatu realita (dunia sebenarnya) secara terukur. Model yang berkembang sampai dengan saat ini dan paling sering digunakan adalah "Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap". Model perencanaan ini merupakan gabungan dari beberapa seri yang masing-masing harus dilakukan secara terpisah dan berurutan (Tamin, 2000).

2.2 Parameter Kinerja Ruas

Kapasitas

Kapasitas didefinisikan sebagai arus lalu lintas maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua-lajur dua-arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur.

Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut:

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_s$$

Keterangan:

- C – Kapasitas (simp/jam)
- C_0 – Kapasitas dasar (simp/jam)
- FC_w – Faktor penyesuaian lebar jalan
- FC_{sp} – Faktor penyesuaian pemisahan arah (hanya untuk jalan tak terbagi)
- FC_{sf} – Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan
- FC_s – Faktor penyesuaian ukuran kota

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat pelayanan jalan terhadap karakteristik lalu lintasnya. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = v/C$$

Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas dinyatakan dalam simp/jam.

Kecepatan Arus Bebas

Kecepatan arus bebas adalah kecepatan (km/jam) kendaraan yang tidak dipengaruhi kendaraan lain (yaitu kecepatan dimana pengemudi merasakan perjalanan yang nyaman, dalam kondisi geometrik, lingkungan dan pengaturan lalu lintas yang ada, pada segmen jalan dimana tidak ada kendaraan yang lain). Untuk jalan tak terbagi analisis dilakukan terpisah untuk masing-masing arah lalu-lintas. Untuk jalan terbagi, analisis dilakukan terpisah untuk masing-masing arah lalu-lintas. Kecepatan arus bebas kendaraan ringan digunakan sebagai ukuran utama kinerja dan dihitung dengan menggunakan

$$FV = (FV_0 + FV_w) \times FFV_{sf} \times FFV_s$$

Keterangan:

- FV – kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam)
- FV_0 – kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan (km/jam)
- FV_w – penyesuaian lebar lajur lalu-lintas efektif (km/jam)
- FFV_{sf} – faktor penyesuaian kondisi hambatan samping
- FFV_s – faktor penyesuaian ukuran kota

Waktu Tempuh

Waktu tempuh adalah waktu rata-rata yang digunakan kendaraan menempuh segmen jalan dengan panjang tertentu, termasuk semua tundaan waktu berhenti (detik atau jam).

Rumus yang dipergunakan untuk menghitung waktu tempuh, dapat dilihat dari persamaan dibawah ini:

$$TT = L/V$$

(Waktu tempuh rata-rata dalam detik dapat dihitung dengan TT X 3600)

Keterangan:

TT	=	Waktu tempuh rata-rata (jam)
V	=	Kecepatan (km/jam)
L	=	Panjang segmen (km)

2.3 Parameter Kinerja Simpang

2.3.1 Simpang Bersinyal

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio arus lalu-lintas terhadap kapasitas (biasanya dihitung per jam)

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas simpang bersinyal adalah sebagai berikut:

$$C = S \times g/c$$

Keterangan:

C	=	Kapasitas (smp/jam)
S	=	Nilai yang disesuaikan hijau (smp/jam)
g	=	Waktu hijau (detik)
c	=	Waktu siklus (detik)

Sedangkan rumusan yang digunakan untuk menghitung derajat kejenuhan adalah sebagai berikut:

$$DS = Q/C$$

Keterangan:

DS	=	Derajat kejenuhan
Q	=	Arus lalu lintas (smp/jam)
C	=	Kapasitas (smp/jam)

Panjang Antrian

Panjang antrian adalah panjangnya antrian kendaraan dalam suatu pendekat, dan dinyatakan dalam satuan meter.

Rumusan untuk menghitung kendaraan antri adalah sebagai berikut:

$$Ql = NQ_{max} \times \frac{20}{W_{maks}}$$

$$NQ_{max} = NQ_1 + NQ_2$$

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{(DS - 0,25) \times DS}{c}} \right]$$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GS}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}$$

Keterangan :

- QL = Panjang antrian
- NQ = Jumlah kendaraan antri
- NQ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- NQ₁ = Jumlah smp yang datang selama fase merah
- DS = Derajat kejenuhan
- GR = Rasio hijau
- C = Kapasitas (smp/jam) = (S x GR)
- Q_{masuk} = Arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)
- c = Waktu siklus (detik)

Kendaraan Terhenti

Kendaraan terhenti adalah arus lalu lintas yang terpaksa berhenti sebelum melewati garis henti akibat pengendalian sinyal. Adapun beberapa rumusan yang digunakan untuk menghitung jumlah kendaraan terhenti ialah sebagai berikut :

$$NS_{\text{henti}} = \frac{\sum N_{\text{henti}}}{Q_{\text{masuk}}}$$

$$N_{\text{henti}} = Q \times NS \text{ (smp/jam)}$$

$$NS = 0.9 \times \frac{NQ}{c \times 3600}$$

Keterangan :

- NS_{henti} = Angka henti keseluruhan simpang
- N_{henti} = Jumlah kendaraan terhenti
- NS = Angka henti
- c = Waktu siklus (detik)
- Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui suatu simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas (DT) dan tundaan geometri (DG). Tundaan lalu lintas adalah waktu menunggu yang disebabkan interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Tundaan geometri adalah disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di persimpangan dan/atau yang terhenti oleh lampu merah.

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan waktu tundaan simpang adalah sebagai berikut :
Menghitung tundaan lalu lintas rata-rata tiap pendekatan :

$$DT = c_1 \times A = \frac{NQ_1 \times 3600}{C_2}$$

Keterangan :

- DT = Tundaan lalu lintas rata-rata tiap pendekatan (det/smp)
- C₁ = Waktu siklus yang disesuaikan (detik)
- A = $\frac{1.5 \times (1-GR)}{1-GR+DS}$
- GR = Rasio hijau (g/c)
- DS = Derajat kejenuhan
- NQ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- C₂ = Kapasitas (smp/jam)

Menghitung tundaan geometri rata-rata masing-masing pendekat :

$$Dg_i = (1 - P_{s_i}) \times P_i \times 6 - (P_{s_i} \times 4)$$

Keterangan :

DG_i = Tundaan geometri rata-rata (smp/jam)

P_{s_i} = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat

P_i = Rasio kendaraan berbelok pada pendekat

Menghitung tundaan geometrik gerakan lalu lintas dengan belok kiri langsung (LTOR).

Menghitung tundaan rata-rata (smp/detik).

Menghitung tundaan total dalam detik dengan mengalikan tundaan rata-rata dengan arus lalu lintas.

Menghitung tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D_i)

$$D_i = \frac{\sum Q_i \times D_i}{Q_{total}}$$

2.3.2 Simpang Tak Bersinyal

Derajat Kejenuban

Derajat kejenuban adalah rasio arus lalu-lintas terhadap kapasitas (biasanya dihitung per jam)

Rumusan yang digunakan untuk menghitung derajat kejenuban pada simpang tak bersinyal adalah sebagai berikut :

$$DS = Q_{total} / C$$

Keterangan :

DS = Derajat kejenuban

Q_{total} = Arus lalu lintas total (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui suatu simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas (DT) dan tundaan geometri (DG).

Rumus menghitung tundaan keseluruhan, yaitu:

$$D = DG + DT, \text{ (detik/smp)}$$

Menghitung tundaan geometri (DG) :

$$DG = (1 - DS) \times (P_i \times 6 - (1 - P_i) \times 3) + DS \times 4; \text{ untuk nilai } DS < 1,0$$

$$DG = 4; \text{ untuk nilai } DS \geq 1,0$$

Menghitung tundaan lalu lintas (DT_i) :

$$DT_i = 2 + 8,2078 \times DS - (1 - DS) \times 2; \text{ untuk nilai } DS \leq 0,6$$

$$DT_i = 1,0504 / (0,2742 - 0,2042 \times DS) - (1 - DS) \times 2; \text{ untuk nilai } DS \geq 0,6$$

Keterangan :

D = Tundaan simpang keseluruhan (detik/smp)

DS = Derajat Kejenuban

DG = Tundaan geometrik simpang (detik/smp)

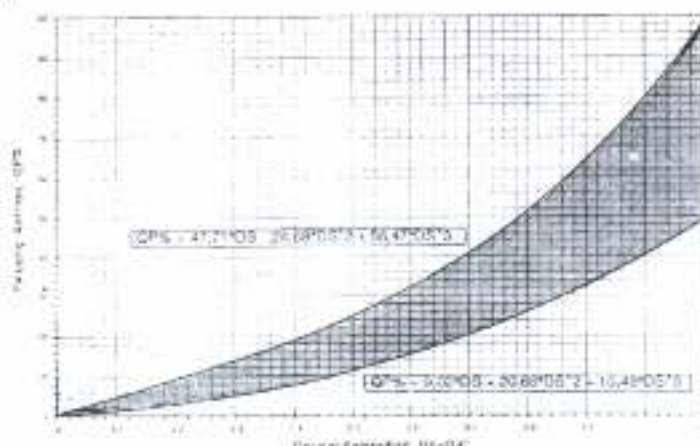
DT_i = Tundaan lalu lintas simpang (detik/smp)

P_i = Rasio belok total

Peluang Antrian

Peluang antrian adalah besarnya kemungkinan kendaraan untuk terjebak antrian. Perhitungan

mengenai peluang antrian dapat dilakukan melalui pendekatan secara empiris, yaitu dengan menggunakan grafik berikut :



Gambar 2. Rentang peluang antrian ($QP\%$) terhadap derajat kejenuhan (DS)

3. Hasil dan Analisis

3.1 Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas diambil dengan penggalan waktu lima belas menit pada masing – masing lengan yang memasuki simpang. Volume lalu lintas diperoleh dengan menghitung banyaknya kendaraan yang melewati simpang. Penggolongan kendaraan disesuaikan dengan buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia (*MKJI*) 1997, yaitu kendaraan ringan atau *Light Vehicle (LV)*, kendaraan berat atau *Heavy Vehicle (HV)*, sepeda motor atau *Motor cycle (MC)*, dan kendaraan tidak bermotor atau *Unmotorized (UM)*.

Hasil perhitungan pada jam puncak periode pagi dan sore yang maksimum dapat dilihat pada table 1 berikut :

Tabel 1. Volume lalu lintas eksisting maksimum setiap simpang di sepanjang Jalan Akses Tol Baros pada jam puncak periode pagi dan sore

Simpang 1	Waktu	Perakut S				Perakut C				Perakut T															
		Lalu Lintas		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kiri		Lalu Lintas		Beban Kanan													
		LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM												
Pagi 05.30-07.30	Pagi	40	24	275	1	10	2	175	2	4	0	130	2	715	7	240	13	30	3	120	21	617	40	500	-
	Sore	150	20	100	8	10	1	42	1	50	2	107	3	92	17	100	1	100	1	100	4	100	47	507	11
	Sore	150	20	100	8	10	1	42	1	50	2	107	3	92	17	100	1	100	1	100	4	100	47	507	11
Simpang 2	Waktu	Perakut S				Perakut H				Perakut T															
		Beban Kiri		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kiri													
		LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM												
Pagi 05.30-07.30	Pagi	102	20	-	-	10	87	-	-	275	64	1073	-	375	-	-	-	275	16	175	3	100	-	-	-
	Sore	20	0	-	-	10	12	-	-	100	10	10	-	505	11	-	-	10	10	175	8	100	-	-	-
	Sore	20	0	-	-	10	12	-	-	100	10	10	-	505	11	-	-	10	10	175	8	100	-	-	-
Simpang 3	Waktu	Perakut B				Perakut T				Perakut S															
		Beban Kiri		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kiri													
		LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM												
Pagi 05.30-07.30	Pagi	102	24	-	-	15	21	-	-	150	40	1073	10	402	75	-	-	100	25	570	10	10	40	-	-
	Sore	10	0	-	-	50	40	-	-	100	2	140	-	100	10	-	-	50	10	570	8	100	20	-	-
	Sore	10	0	-	-	50	40	-	-	100	2	140	-	100	10	-	-	50	10	570	8	100	20	-	-
Simpang 4	Waktu	Perakut B				Perakut T				Perakut S															
		Lalu Lintas		Beban Kiri		Beban Kanan		Lalu Lintas		Beban Kiri															
		LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM	LV	HV	MC	UM												
Pagi 05.30-07.30	Pagi	175	7	2007	21	15	80	200	4	175	51	1005	-	60	10	100	1	175	10	175	3	100	20	200	7
	Sore	100	10	100	20	10	80	175	1	100	50	100	1	100	50	100	1	100	20	100	10	100	100	100	1
	Sore	100	10	100	20	10	80	175	1	100	50	100	1	100	50	100	1	100	20	100	10	100	100	100	1

3.2 Waktu Tempuh Perjalanan (Travel Time Survey)

Data waktu tempuh didapatkan berdasarkan survey yang dilakukan dengan menggunakan metoda *Floating Car Observation (FCO)*. Melalui teknik FCO ini akan diperoleh data waktu perjalanan. Teknik survei ini adalah dengan mencatat waktu perjalanan survei yang bergerak mengikuti kecepatan arus lalu lintas (mengambang atau *floating*). Diusahakan kendaraan tidak menyiap kendaraan lainnya atau jumlah kendaraan yang disiap sama dengan kendaraan yang menyiap. Teknik survei ini cukup akurat untuk mendapatkan kecepatan perjalanan arus lalu lintas dan pelaksanaannya cukup sederhana.

Dari hasil survei yang telah dilakukan besarnya kecepatan rata – rata di ruas jalan akses tol dapat dilihat pada tabel 2.a dan tabel 2.b berikut ini.

Tabel 2.a. Waktu dan jarak tempuh di ruas Jl. HMS Mintaredja hari 1.

NO	Ruas A - I (Pegri) Ruas I - A (Palang)	Jarak (km)	Hari 1			
			Pagi		Sore	
			Waktu (detik)	Kec (km/jam)	Waktu (detik)	Kec (km / jam)
1	A-B	0,07	19	13,3	32	7,9
2	B-C	0,22	19	41,7	31	25,5
3	C-D	0,05	6	30,0	5	36,0
4	D-E	0,53	42	45,4	43	44,4
5	E-F	0,20	21	34,3	17	42,4
6	F-G	0,25	25	36,0	24	37,5
7	G-H	0,30	20	54,0	23	47,0
8	H-I	0,25	11	7,8	105	8,6
9	I-H	0,25	48	18,8	60	15,0
10	H-G	0,30	38	28,4	66	16,4
11	G-F	0,25	44	18,4	32	28,1
12	F-E	0,20	16	45,0	27	26,7
13	E-D	0,53	48	39,8	73	26,1
14	D-C	0,05	147	1,2	79	2,3
15	C-B	0,22	31	25,5	51	15,5
16	B-A	0,07	31	8,1	58	4,3

Sumber : Hasil Analisis 2019

Tabel 2.b. Waktu dan jarak tempuh di ruas Jl. HMS Mintaredja hari 2.

NO	Ruas A - I (Pegri) Ruas I - A (Palang)	Jarak (km)	Hari 2			
			Pagi		Sore	
			Waktu (detik)	Kec (km/jam)	Waktu (detik)	Kec (km / jam)
1	A-B	0,07	33	7,6	52	4,8
2	B-C	0,22	24	33,0	25	31,7
3	C-D	0,05	6	30,0	16	11,3
4	D-E	0,53	42	45,4	48	39,8
5	E-F	0,20	18	40,0	18	40,0
6	F-G	0,25	20	45,0	23	39,1
7	G-H	0,30	18	60,0	31	34,8
8	H-I	0,25	129	7,0	55	16,4
9	I-H	0,25	46	19,6	44	20,5
10	H-G	0,30	28	38,6	60	18,0
11	G-F	0,25	19	47,4	24	37,5
12	F-E	0,20	16	45,0	15	48,0
13	E-D	0,53	42	45,4	194	9,8
14	D-C	0,05	10	18,0	214	0,8
15	C-B	0,22	15	52,8	60	13,2
16	B-A	0,07	32	7,9	52	4,8

Sumber : Hasil Analisis 2019

3.3 Volume Lalu Lintas 24 Jam

Rekapitulasi jam puncak pada ruas jalan raya Cibereum dari data sekunder terlihat bahwa jam puncak pada ruas jalan raya Cibereum terjadi antara pukul 07.00 sampai pukul 08.00 dengan jumlah kendaraan total 2 arah mencapai 11 556 kend/jam atau 7 443 smp/jam untuk pagi hari, sedangkan untuk periode sore terjadi antara pukul 17.00 sampai dengan 18.00 dengan jumlah kendaraan total 2 arah mencapai 10639 kend/jam atau 6515 smp/jam. Untuk volume kendaraan total 2 arah selama 24 jam mencapai 123043 kend/jam atau 77738 smp/jam terlihat pada table 3 berikut:

Tabel 3. Volume Lalu Lintas di Ruas Jalan Cibereum 24 Jam

Waktu	Volume					
	Arah 1		Arah 2		Total 2Arah	
	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam
06.00 - 07.00	2042	3182	2124	3285	4166	6467
07.00 - 08.00	3646	5684	3797	5872	7644	11556
08.00 - 09.00	2471	3850	2572	3977	5043	7877
09.00 - 10.00	2145	3341	2233	3452	4377	6793
10.00 - 11.00	2176	3314	2219	3428	4345	6742
11.00 - 12.00	1806	2815	1881	2909	3687	5724
12.00 - 13.00	1937	3019	2020	3122	3957	6141
13.00 - 14.00	1940	3022	2021	3123	3961	6145
14.00 - 15.00	3282	3531	2620	3980	4902	7511
15.00 - 16.00	2501	4028	2679	4078	5179	8106
16.00 - 17.00	2622	4401	3770	4321	5393	8722
17.00 - 18.00	3068	5182	3447	5457	6515	10639
18.00 - 19.00	3267	5830	2549	4035	4817	7865
19.00 - 20.00	3493	2520	1678	2654	3170	5174
20.00 - 21.00	1354	2286	1524	2410	2878	4696
21.00 - 22.00	1291	2180	1448	2291	2739	4474
22.00 - 23.00	657	1109	738	1168	1386	2277
23.00 - 24.00	385	649	432	683	818	1343
00.00 - 01.00	189	324	216	344	405	668
01.00 - 02.00	154	264	171	276	325	540
02.00 - 03.00	214	365	239	382	453	747
03.00 - 04.00	237	403	268	425	504	828
04.00 - 05.00	175	298	200	319	373	617
05.00 - 06.00	420	707	472	745	892	1452
Total 24 Jam	37419	60304	40319	62739	77738	123043

Sumber : URM Metropolitan Bandung-2006

3.4 Data Teknis Gedung BITC

Luas tanah *Baros Information Technology Creative (BITC)* sebesar $\pm 924,525 \text{ m}^2$, sedangkan luas untuk masing-masing lantai bangunan BITC sebesar $\pm 540,93 \text{ m}^2$, dengan luas lantai bangunan perkantoran $\pm 3245,58 \text{ m}^2$, bangunan yang digunakan untuk potensi parkir sebesar $\pm 322,43 \text{ m}^2$, bangunan yang digunakan untuk taman sebesar $\pm 61,16 \text{ m}^2$, bentuk bangunan berlantai 6 (enam). Bentuk bangunan lantai 1 (satu) sampai dengan lantai 6 (enam) adalah tipikal.

3.5 Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB)

Pendapatan Domestik Regional Bruto per kapita merupakan rata-rata nilai tambah bruto setiap penduduk di wilayah kota Cimahi pada satu satuan waktu. Indikator PDRB per kapita ini seiring digunakan untuk menggambarkan tingkat kesejahteraan masyarakat kota Cimahi. Semakin besar PDRB per kapita, secara kasar menunjukkan semakin tingginya tingkat kemakmuran penduduk pada wilayah tersebut, sebaliknya semakin rendah PDRB per kapita berarti kemakmuran penduduknya semakin rendah. Untuk pertumbuhan ekonomi penduduk kota Cimahi adalah dapat dilihat pada tabel 4, berikut,

Tabel 4. Pertumbuhan ekonomi Kabupaten / Kota di Jawa Barat atas dasar harga konstan tahun 2004 – 2006 tanpa migas (persen)

NO	Kabupaten/Kota	2004	2005	2006
1	Bogor	5,58	5,85	5,95
2	Sukabumi	3,96	4,33	3,98
3	Cianjur	3,97	3,82	3,34
4	Bandung	5,68	5,81	5,82
5	Garut	4,01	4,16	4,11
6	Tasikmalaya	3,52	3,83	4,01
7	Ciamis	4,36	4,58	3,84
8	Kuningan	3,98	3,95	3,99
9	Cirebon	4,67	5,06	5,11
10	Majalengka	4,27	4,47	4,26
11	Sumedang	4,31	4,52	4,17
12	Indramayu	4,16	4,25	5,10
13	Subang	5,14	5,67	4,58
14	Purwakarta	3,72	3,51	3,87
15	Karawang	7,03	5,83	5,93
16	Bekasi	5,65	5,84	5,98
17	Bandung Barat	5,48	4,94	5,14
18	Kota Bagor	6,10	6,12	6,03
19	Kota Sukahumi	5,77	5,95	6,23
20	Kota Bandung	7,49	7,53	7,83
21	Kota Cirebon	4,66	4,89	5,54
22	Kota Bekasi	5,38	5,65	6,07
23	Kota Depok	6,50	6,96	6,65
24	Kota Cimahi	4,34	4,56	4,81
25	Kota Tasikmalaya	4,99	4,02	5,11
26	Kota Banjar	4,40	4,63	4,71
	Jawa Barat	5,08	6,25	6,30

Sumber : PDRB Kabupaten / Kota di Jawa Barat 2004-2006

4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan pendekatan dan tahapan sebagai berikut :

- Kondisi eksisting ruas dan simpang dengan BITC belum beroperasi (2010)
- Kondisi eksisting ruas dan simpang mendatang dengan BITC belum beroperasi (2015)
- Kondisi eksisting ruas dan simpang dengan BITC beroperasi (2010)
- Kondisi eksisting ruas dan simpang mendatang dengan BITC beroperasi (2015)

Ringkasan hasil analisis kinerja ruas di jalan akses tol baras diperlihatkan pada tabel 5, sedangkan untuk hasil analisis kinerja simpang diperlihatkan pada tabel 6 berikut ini :

Tabel 5. Ringkasan Hasil Analisis Ruas

Analisis	Kinerja Ruas Jl. HMS Mumpudja			
	Kondisi BITC Belum Beroperasi		Kondisi BITC Beroperasi	
	2010	2015	2010	2015
Q (simp/jam)	1561	1952	1600	2152
C (simp/jam)	3116	3116	1941	1941
DS	0,5	0,63	0,82	1,11

Tabel 6. Ringkasan Hasil Analisis Simpang

Analisis	Tol Keremal				Bespital				
	Kondisi BITC Belum Beroperasi		Kondisi BITC Beroperasi		Kondisi BITC Belum Beroperasi		Kondisi BITC Beroperasi		
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	
S1	Q (simp/jam)	6056	4948	4141	5268	1213	1222	1236	1583
	C (simp/jam)	NA	NA	NA	NA	975	801	935	975
	DS	NA	NA	NA	NA	1,3	1,85	1,32	1,71
	D (dtk/smp)	NA	NA	NA	NA	95,2	127	101,2	1509
	QS	NA	NA	NA	NA				
	NQ					417,2	422,15	298,89	693,88
	NS (simp/jam)					3,25	3,428	3,683	4,77
S2	Q (simp/jam)	3441	5810	6648	6291	380	356	593	1325
	C (simp/jam)	4958	5268	5273	5338	1257	1138	1297	1480
	DS	0,74	1,103	0,88	1,183	0,78	0,84	0,79	0,89
	D (dtk/smp)	17,76	25,63	14,3	36,2	26,33	40,23	20,02	41,01
	QS	72,41	49,38	31,62	57,115				
	NQ					11,37	25,66	14,61	55,25
	NS (simp/jam)					0,82	0,812	0,89	0,88
S3	Q (simp/jam)	3823	3476	3828	5714	1292	1572	1284	1671
	C (simp/jam)	2326	NA	2375	NA	1181	1182	1181	1577
	DS	1,31	NA	1,32	NA	1,06	1,33	1,07	1,42
	D (dtk/smp)	28,58	NA	15,94	NA	221,7	219,8	225,4	999,6
	QS	67,104	NA	34,63	NA				
	NQ					169,34	408,54	181,38	528,85
	NS (simp/jam)					1,38	2,796	1,382	3,334
S4	Q (simp/jam)	4482	3685	3156	4101	764	562	774	925
	C (simp/jam)	3742	NA	3728	NA	1078	1107	1078	1123
	DS	1,21	NA	1,22	NA	0,75	0,87	0,76	0,89
	D (dtk/smp)	43,68	NA	46,41	NA	73,48	48,59	79,9	51,75
	QS	60,121	NA	61,174	NA				
	NQ					13,13	23,08	13,82	24,09
	NS (simp/jam)					0,9	0,949	0,904	0,95

Ket : S1 - Simpang Pasuk Armat S2 - Simpang Pitu Tol Baras - 1 S3 - Simpang Pitu Tol Baras - 2 S4 - Simpang Lembang

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka peneliti dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut :

- Pada kondisi eksisting tahun 2010 saat BITC belum beroperasi maupun dengan BITC beroperasi, simpang pusdik armed dan pintu tol baros – 2 memiliki kinerja kurang baik dengan nilai derajat kejenuhan lebih besar dari 0,85. Sedangkan simpang pintu tol baros – 1, dan leuwigajah memiliki kinerja yang cukup baik dengan nilai derajat kejenuhan lebih kecil dari 0,85.
- Pada kondisi tahun 2015 saat BITC belum beroperasi maupun sudah beroperasi, kinerja simpang pusdik armed, pintu tol baros – 1, pintu tol baros – 2, dan leuwigajah menjadi kurang baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai derajat kejenuhan yang lebih besar dari 0,85 ($DS > 0,85$).
- Usulan dianalisis pada kondisi BITC beroperasi tahun 2015, dengan mengatur fase pergerakan (*LTOR* dan belok kanan terpisah) serta mengubah geometrik tiap pendekat pada semua simpang.
- Dengan beroperasinya BITC perlu disediakan lahan parkir yang dapat menampung kendaraan untuk parkir pada jam puncak di luar badan jalan (*offstreet parking*).

5.2 Saran

Kinerja ruas dan simpang perlu dioptimalkan diantaranya dengan melakukan berbagai penanganan untuk mengatasi nilai derajat kejenuhan yang melebihi ambang batas kritis, pemecatan masalah bisa dilakukan dengan berbagai cara antara lain :

- Pengaturan pergerakan, peningkatan geometrik dan pengurangan hambatan samping seperti pelebaran pendekat dan pemisahan pejalan kaki dengan arus lalu lintas melalui pemagaran dengan jembatan penyeberangan orang (JPO).
- Pusat kegiatan baru perlu dianalisis penyediaan lahan parkir di luad badan jalan, sehingga gangguan lalu lintas akibat penggunaan badan jalan untuk parkir dapat diminimalisasi.
- Dalam jaringan jalan, kapasitas jaringan ditentukan oleh kapasitas elemen-elemen kritis seperti kapasitas simpang, apabila terdapat satu simpang yang sudah lewat jenuh dan dampaknya berpengaruh terhadap simpang berikutnya maka secara keseluruhan jaringan akan bermasalah. Pada kasus ini adalah simpang Pusdik Armed dimana teramati kondisi "exit" simpang bermasalah akibat gangguan didepannya (simpang atau ruas).

6 DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan, "Analisis Dampak Lalu Lintas (ANDALALIN)".
2. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen PU, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997".
3. Tamin, O. Z., "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2000.
4. Ziaulhaq, A. dan Ardiansyah, M. (2009) "Evaluasi Kinerja Jaringan Jalan Kota Cimahi dengan Permodelan Lalu Lintas", Laporan TA Sarjana pada Unjani Cimahi.

Susut Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Saluran Distribusi Tegangan Rendah

Ken Taryana

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)

Email : eentaryana@yahoo.co.id

Abstrak. Pada sistem pembebanan yang tidak seimbang dalam sistem tiga-fasa empat-kawat, susut daya pada saluran distribusi akan lebih besar dibandingkan pada kondisi beban tidak seimbang. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi pembebanan yang ekstrim dimana beban hanya terpasang pada salah satu fasa saja susut daya pada saluran distribusi akan lebih besar enam kali dibandingkan pada kondisi beban seimbang.

Kata kunci : *Sistem tiga-fasa empat-kawat, beban tidak seimbang, susut daya*

1 Latar Belakang Masalah

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakerempakan waktu penyaluran beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik [1]. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan terjadinya susut daya di jaringan.

Seperti telah disampaikan oleh pihak PT. PLN (Persero), bahwa susut daya di saluran secara keseluruhan sebesar kira-kira 10 % dari total daya yang disalurkan [2], [3], [4]. Tentunya jika susut daya tersebut dapat dikurangi, akan memberikan penghematan dan efisiensi kepada pihak PLN sebagai penyedia energi listrik.

Secara umum susut daya di saluran distribusi disebabkan oleh parameter saluran. Untuk sistem tiga-fasa, susut daya juga dapat disebabkan oleh ketidakseimbangan beban.

Ketidakseimbangan sistem penyaluran tiga-fasa dapat disebabkan karena beberapa faktor, diantaranya karena harmonisa yang terlalu besar, karena terjadi gangguan dan juga karena pembebanan yang tidak seimbang.

Berdasarkan latar belakang di atas, dalam makalah ini akan dicoba dijelaskan lebih lanjut mengenai susut daya yang disebabkan karena ketidakseimbangan pembagian beban. Dengan mengetahui besarnya rugi-rugi akibat ketidakseimbangan beban, diharapkan akan lebih mudah dalam mencari solusi alternatif untuk mengatasinya.

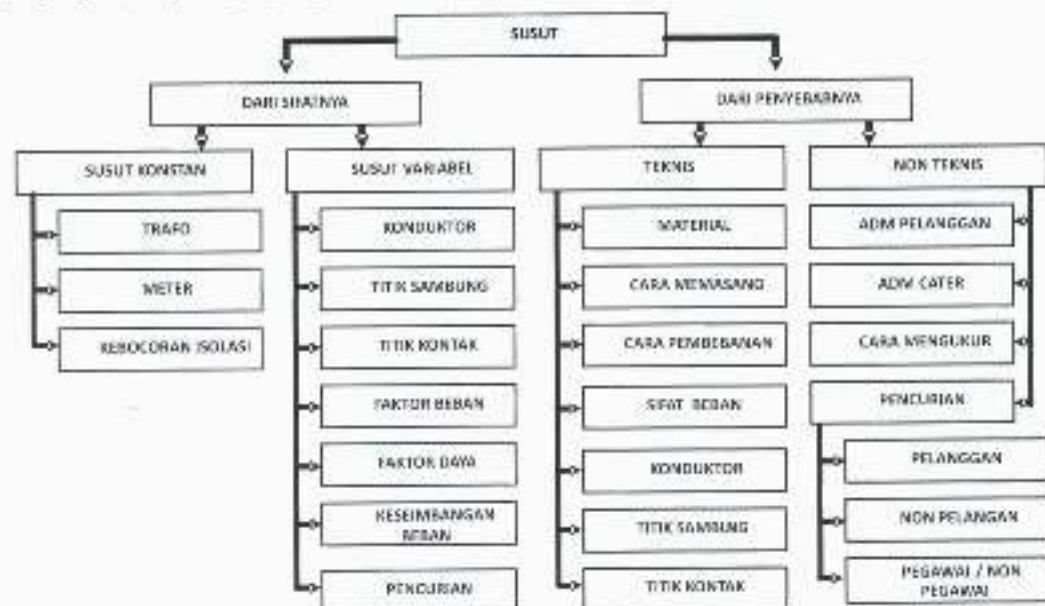
2 Susut Daya Pada Sistem Distribusi

Difinisi Susut Distribusi

Susut jaringan distribusi dalam sistem ketenagalistrikan merupakan kehilangan kWh energi yang tidak dapat dimanfaatkan, sehingga hal ini merupakan salah satu bentuk pemborosan energi serta menurunkan efisiensi.

Masalah susut adalah masalah efisiensi pendistribusian tenaga listrik yang berkaitan langsung dengan manajemen pembebanan sistem tenaga listrik (harus dilakukan evaluasi dan pengendalian sampai pada batas yang wajar secara terus-menerus berkesinambungan).

Susut energi pada sistem distribusi dapat dilihat dari segi sifat dan dari penyebabnya susut yang terjadi, seperti yang digambarkan pada skema dibawah ini :



Gambar 1. Skema Struktur Susut(Losses)

2.1.1 Susut Konstan

Susut konstan yaitu susut yang timbul secara konstan (terus menerus) pada sistem distribusi tenaga listrik yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi beban (sepanjang sumber tegangan masih ada), antara lain seperti : rugi-rugi besi trafo, kWh meter, kebocoran isolasi dsb.

- Pada trafo distribusi terdapat susut konstan yang berupa rugi-rugi besi sebesar 0,10 s/d 0,40 % dari daya trafo (contoh pada trafo 25 kVA terjadi rugi-rugi besi sebesar 100 watt dan pada trafo 6.300 kVA terjadi rugi-rugi besi sebesar 6.500 watt).
- Pada setiap kWh meter mekanik membutuhkan daya antara 1,5 s/d 2 watt untuk dapat menggerakkan kWh meter tersebut.
- Pada isolasi sistem jaringan listrik harus memiliki tahanan isolasi sebesar $\geq 1k\Omega/volt$ atau kebocoran maksimum yang diijinkan adalah $\leq 1 volt/1.000 \Omega = 0,001$ ampere atau susut maksimum yang diijinkan pada sistem TR : $220 volt = 0,001 ampere^2 \times 220.000 \Omega = 0,22$ watt dan sistem TM : $20 kV = 0,001 ampere^2 \times 20.000.000 \Omega = 20$ watt.

- Untuk memperkecil prosentase susut konstan pada trafo distribusi maka tidak ada jalan lain kecuali mengatur pembebanan trafo pada kondisi beban optimum dimana efisiensinya paling tinggi yakni pada beban antara 70 s/d 80 dari kapasitasnya.
- Untuk memperkecil prosentase susut konstan pada setiap kWh meter mekanik maka penggunaan energi listrik yang melalui meter tersebut harus ditingkatkan agar ratio kWh susut konstan di kWh meter dengan pemakaian energi listrik (kWh) yang terukur menjadi kecil (contoh : pemakaian pelanggan A sebesar 30 kWh / bulan dengan pemakaian pelanggan B sebesar 100 kWh / bulan akan memiliki ratio susut konstan untuk pelanggan A = $(2/1.000 \text{ kW} \times 720 \text{ jam}) / (30 \text{ kWh}) \times 100 \% = 4,8 \%$, sementara untuk pelanggan B = $(2/1.000 \text{ kW} \times 720 \text{ jam}) / (100 \text{ kWh}) \times 100 \% = 1,44 \%$.
- Jika terjadi kebocoran pada isolasi sistim jaringan listrik, misalnya karena keretakan isolator atau adanya sisa benang layang² sehingga tahanan isolasi berkurang sebesar 10 % maka akan terjadi perubahan susut konstan yang semula pada sistim TR = 0,22 watt dan sistim TM : 20 kV – 20 watt, menjadi 0,24 watt pada sistim TR dan 22,18 watt pada sistim TM

2.1.2 Susut Variabel

Yakni susut yang timbul secara variabel (berubah-ubah) pada sistim distribusi tenaga listrik yang dipengaruhi oleh fluktuasi beban (naik-turunnya beban), antara lain seperti : rugi-rugi penghantar (I R), titik sambung / titik kontak dsb.

2.1.3 Susut Teknis

Susut Teknis akan memunculkan alternatif penanganan Energi yang hilang pada sistem jaringan distribusi karena faktor karakteristik dan kondisi teknis

Penyebab susut (losses) kWh dari segi teknis :

- Ukuran penghantar yang kurang optimum (yang dipengaruhi oleh Faktor Beban dan Faktor Distribusi Beban).
- Jaringan yang terlalu panjang.
- Tingkat isolasi yang telah menurun dibawah batas minimal (pada isolator, minyak trafo, kabel, arrester dsb.).
- Pembebanan yang tidak seimbang (timbulnya I₀).
- Faktor Daya (Cos Q), yang rendah (timbulnya daya reaktif)
- Ketidak akuratan dari alat ukur meter kWh, CT maupun PT (timbulnya selisih hasil ukur).
- Titik sambung / kontak yang kurang sempurna (timbulnya panas yang berlebihan sehingga mengurangi energi).
- Pengawatan alat ukur yang salah pada urutan fasa/polaritas (timbulnya selisih ukur)
- Kebocoran arus melalui pepohonan atau sisa benang layang² yang menyentuh jaringan (timbulnya kebocoran energi)
- Pengaruh harmonisa (Power Quality) sehingga mempengaruhi pengukuran (apabila peralatan ukur yang dipakai tidak memenuhi syarat).
- Pembebanan trafo yang tidak seimbang antar fasanya
- Pembebanan trafo melebihi kapasitas dalam waktu yang lama (Over load) Loss Kontak pada peralatan listrik
- Pemasangan trafo arus (CT) terlalu besar tidak sesuai dengan
- daya yang diukur
- Akurasi alat ukur (kWh meter)

2.1.4 Susut Non Teknis

Susut Non Teknis adalah energi yang hilang bukan karena sebab teknis, diantaranya karena salah pengukuran, salah perhitungan, salah catat, salah baca, salah data entri baik disengaja maupun tidak disengaja

Penyebab susut (losses) kWh dari segi non teknis :

- Data Induk Langganan (DIL) yang tidak akurat.
- Pembacaan/pencatatan angka stand kWh meter yang tidak tepat/benar (waktu, angka, penafsiran, faktor kali dsb.).
- Pencurian aliran listrik oleh pelanggan maupun non pelanggan.
- Pemakaian sendiri yang tidak terukur / tercatat.
- Cara perhitungan yang tidak tepat / benar.
- Transportasi kWh meter
- Salah wiring APP
- Salah baca meter
- Salah entri data, proses billing (Pengolahan data)
- Rekening nol kWh
- Rekening pelanggan baru yang belum terbit
- Koreksi rekening
- Sambungan tarif pesta
- RBM belum lengkap
- DIL tidak akurat
- APP tidak disegel
- Pelanggaran oleh konsumen
- Pelanggan non konsumen , dsb.

2.2 Hambatan Dalam Pengendalian Susut (losses) kWh

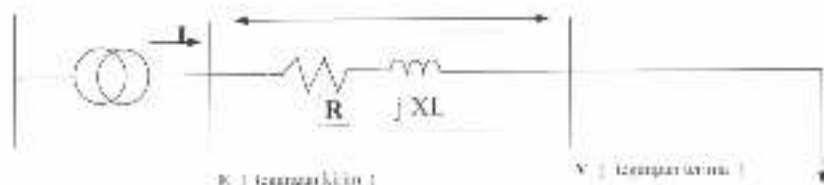
- Data yang kurang lengkap dan kurang akurat.
- Daerah pelayanan yang semakin luas.
- Ketersediaan anggaran yang sangat terbatas.
- Tingkat kesadaran sebagian masyarakat pelanggan maupun non pelanggan,
- pegawai maupun non pegawai yang kurang mendukung.
- Masih terbatasnya kuantitas maupun kualitas SDM yang ada.

2.3 Langkah Pengendalian & Penanggulangan

- Pengumpulan data dan statistik.
- Pengujian dan pengukuran susut.
- Pemetaan susut.
- Menentukan skala prioritas (dengan AMR – Analisa Manajemen Risiko / GKM – Gugus Kendali Mutu).
- Menyusun langkah pengendalian.
- Melaksanakan kegiatan pengendalian, & melakukan evaluasi hasil kegiatan.

2.4 Jatuh Tegangan Dalam Sistem Distribusi

2.4.1 Satu Titik Beban



Gambar 2. Dengan Satu Titik Beban

$$\Delta V = E - V \quad \text{Voltage Drop} \quad (1)$$

$$E = V + I(R + jX)$$

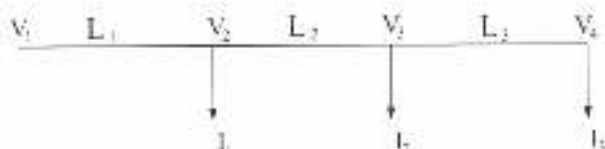
Dimana : R : Tahanan Jangkar (Ω/km)
 E : Reaktansi Jaringan (Ω/km)

2.4.2 Beban Tersebar



Gambar 3. Dengan Beban Tersebar

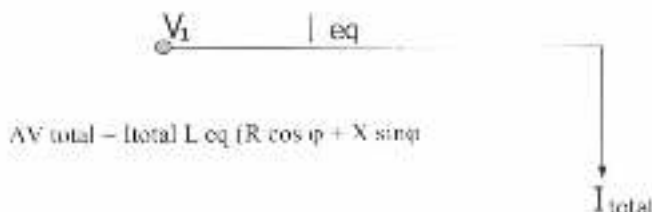
Untuk Menentukan AV total dengan cara terlebih dahulu menentukan titik pusat beban yaitu dengan cara metode momen.



Gambar 4. Single Line Beban Tersebar

$$I_{total} \cdot Leq = I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3$$

$$Leq = \frac{I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3}{I_1 + I_2 + I_3} \quad (2)$$



$$\Delta V \text{ total} = I_{total} L_{eq} (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

Gambar 5. Single Line Satu Titik Beban

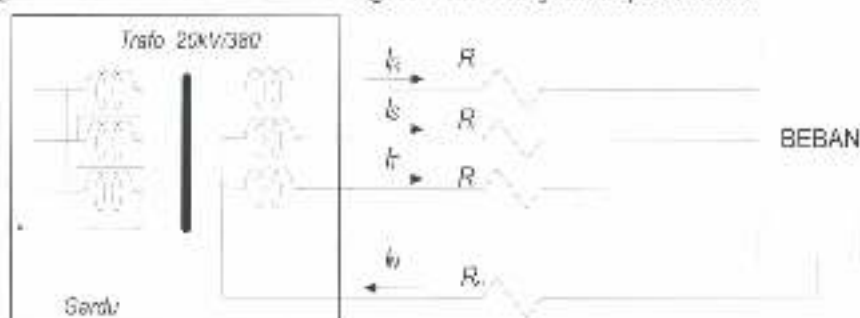
$$I_{total} \cdot Leq = I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3$$

$$Leq = \frac{I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3}{I_1 + I_2 + I_3}$$

3 Susut Daya Pada Saluran Distribusi Tegangan Rendah

3.1 Pendahuluan

Sistem distribusi tegangan umumnya menggunakan konfigurasi tiga-fasa empat-kawat dalam menyalurkan energi listriknya. Konfigurasi ini dipilih karena sistem dapat melayani beban satu dan tiga-fasa. Skema umum dari konfigurasi ini ditunjukkan pada Gb.6.



Gambar 6. Konfigurasi tiga-fasa empat-kawat

Dalam skema diatas terlihat dalam gardu trafo terdapat trafo penurun tegangan dengan 20 kV ke 480 V. Pada sisi tegangan menengah (20kV) belitan trafo terhubung delta sedangkan pada sisi tegangan rendah (480 V) belitan trafo terhubung bintang. Simbol R merepresentasikan resistansi saluran di masing-masing arus fasa, sedangkan simbol R_N merepresentasikan saluran pada kawat netral. Resistansi saluran dibuat berbeda karena umumnya ukuran kawat netral dapat lebih kecil dari ukuran kawat fasanya.

3.2 Analisis Susut Daya

Dalam makalah ini penulis hanya menganalisis susut daya yang diakibatkan oleh saluran, sedangkan susut daya akibat rugi-rugi didalam trafo tidak dilakukan. Analisis menggunakan asumsi tegangan sumber atau tegangan keluaran trafo dianggap seimbang dan sinusoidal, jenis beban terpasang beban linier dan tidak ada harmonisa dalam sistem.

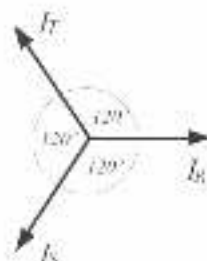
Dengan mengamati Gb.6 di atas maka susut daya pada saluran distribusi dapat ditulis seperti dalam persamaan (3) dengan dengan I_R, I_S, I_T adalah arus fasa R, S, T dan P_{saluran} adalah susut daya disaluran.

$$\begin{aligned}P_{\text{saluran}} &= I_R^2 R + I_S^2 R + I_T^2 R + I_N^2 R_N \\ &= (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2)R + I_N^2 R_N\end{aligned}\tag{3}$$

Tampak dari persamaan diatas susut daya disaluran merupakan daya yang diserap oleh masing-masing kawat fasa dan netral saluran yang nilainya. Semakin besar arus yang mengalir dengan menggunakan kawat yang sama maka akan semakin besar susut daya pada salurannya. Semakin besar nilai resistansi kawat saluran, jika arus yang mengalirnya sama besar maka semakin besar susut dayanya.

3.2.1 Susut Daya Pada Kondisi Seimbang

Arus masing-masing fasa dalam sistem tiga-fasa mempunyai magnitudo yang tidak atau dapat sama besar dengan masing-masing fasa berdeda 120° , dilukiskan dalam Gb.7.



Gambar 7. Vektor arus tiga-fasa

Dengan mengamati konfigurasi pada Gb. 6, jika tegangan sumber diasumsikan seimbang, dan beban yang terpasang seimbang juga maka arus masing-masing fasa besarnya sama, karena sama disimbolkan dengan I saja, secara matematik dapat ditulis seperti dalam persamaan (4)

$$I_R = I_S = I_T = I \quad (4)$$

Arus netral merupakan penjumlahan secara vektor dari ketiga arus fasa, secara matematik dapat ditulis seperti dalam persamaan (5) Pada kondisi seimbang karena-arus masing-masing fasanya sama dan berbeda 120° , maka arus netralnya sama dengan nol.

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (5)$$

Jika resistansi saluran kawat fasa dan kawat netral dianggap sama maka persamaan (5) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (6)

$$P_{\text{loss}} = (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + I_N^2)R \quad (6)$$

Pada kondisi beban seimbang dan tegangan sumber seimbang serta faktor daya beban sama, maka arus yang mengalir pada kawat fasanya akan sama besar (lihat persamaan (4), dan dengan menggunakan persamaan (6) arus netral sistem akan bernilai nol. Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke persamaan (6), maka pada kondisi seimbang susut daya pada saluran distribusi dengan menggunakan konfigurasi tiga-fasa empat kawat diperoleh persamaan (7).

$$P_{\text{loss}} = 3I^2 R \quad (7)$$

Tampak dalam persamaan susut daya diatas susut daya hanya diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran kawat fasa sedangkan rugi-rugi pada saluran kawat netralnya tidak ada.

3.2.2 Susut Daya Pada Kondisi Tidak Seimbang

Dalam prakteknya kondisi pada sistem distribusi energy listrik tidak akan pernah didapat. Jadi mungkin persamaan susut daya seperti ditulis dalam (7) tidak akan pernah dipakai dan arus netral nol tidak mungkin didapat.

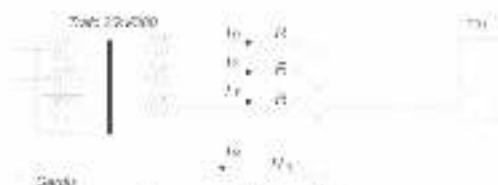
Ada banyak kondisi tidak seimbang dalam sistem pendistribusian energi listrik yang menggunakan konfigurasi tiga-fasa empat kawat. Dalam prakteknya kondisi tidak seimbang yang ditemukan adalah beban terpasang pada ketiga fasa dengan tetapi arus masing-masing fasanya tidak sama besar dan arus mengalir pada kawat netral. Tetapi mungkin saja kondisi ketidakseimbangan ekstrim terjadi dalam saluran distribusi. Kondisi ketidakseimbangan ekstrim tersebut adalah sebagai berikut:

- Beban hanya terpasang pada salah satu fasa saja
- Beban hanya terpasang pada dua fasa saja

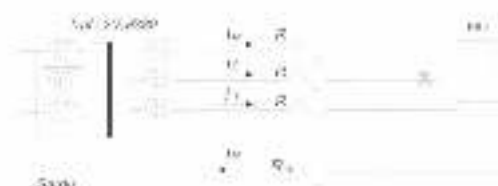
Bagaimana susut daya pada saluran pada kondisi tidak seimbang dibandingkan kondidi beban seimbang akan dianalisis dalam bab ini. Jika beban yang terpasang merupakan beban satu-fasa

maka untuk mengamati perbedaan tersebut penulis melukiskan kondisi beban seimbang dan beban tidak seimbang pada sistem tiga-fasa empat kawat dalam Gb.8.

Dalam menganalisis ketidakseimbangan ini diasumsikan tegangan sumber seimbang, beban terpasang mempunyai sifat resistip murni, resistansi saluran kawat fasa dan netral sama.



(a) Sistem seimbang, Sistem tidak seimbang.



(b) Sistem tidak seimbang, beban terpasang pada dua fasa saja



(c) Sistem tidak seimbang, beban terpasang pada salah satu fasa saja

Gambar 8. Pembebanan Pada Sistem Tiga-Fasa Empat Kawat

Dalam melakukan analisis harus diasumsikan daya yang digunakan oleh pelanggan pada ketiga kondisi tersebut sama besar. Sedangkan persamaan umum dari daya seperti pada persamaan (8).

$$P_{beban} = P_{B1} = P_{B2} = P_{B3} \quad (8)$$

$$P = VI \cos \varphi \quad (9)$$

Pada kondisi seimbang arus dalam kawat fasa akan mengalir sama dan besarnya adalah sepertiga dari arus beban I , sedangkan arus netralnya sama dengan nol. Dengan mensubstitusikan persamaan (9) ke persamaan (7) diperoleh susut daya saluran seperti dalam persamaan (10).

$$I_L = \frac{I}{3} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= 3 \left(\frac{I}{3} \right)^2 R \\ &= \frac{1}{3} I^2 R \end{aligned} \quad (11)$$

Pada kondisi tidak seimbang dan beban hanya terpasang pada dua fasa saja, diperoleh arus yang mengalir dalam kedua fasa tersebut masing-masing ditunjukkan pada persamaan (12), dan arus netralnya diperoleh seperti pada persamaan (13).

$$I_f = \frac{I}{2} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} I_N &= \frac{I}{2} \angle 0^\circ + \frac{I}{2} \angle 120^\circ \\ &= \frac{I}{2} \angle 60^\circ \\ &= \frac{I}{2} \end{aligned} \tag{13}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (12) dan (13) ke persamaan (6) diperoleh susut daya pada saluran seperti dalam persamaan (14).

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= \left[\left(\frac{I}{2} \right)^2 + 0 + \left(\frac{I}{2} \right)^2 + \left(\frac{I}{2} \right)^2 \right] R \\ &= \frac{3}{4} I^2 R \end{aligned} \tag{14}$$

Pada kondisi tidak seimbang dan beban hanya terpasang salah satu fasa saja, diperoleh arus yang mengalir dalam salah satu fasa pada persamaan (15), dan arus netralnya diperoleh seperti pada persamaan (16).

$$I_f = I \tag{15}$$

$$I_N = I \tag{16}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (15) dan (16) ke persamaan (6) diperoleh susut daya pada saluran seperti dalam persamaan (17).

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= \left[I^2 + 0 + 0 + I^2 \right] R \\ &= 2I^2 R \end{aligned} \tag{17}$$

Jika kita bandingkan dari ketiga kondisi pembebanan diatas maka susut daya pada saluran distribusi dari masing-masing pembebanan tersebut diperlihatkan dalam Kondisi : A : beban seimbang, B: Beban tidak seimbang, terpasang di dua fasa, C: Beban tidak seimbang terpasang di salah satu fasa saja.

Tabel 1. Perbandingan Susut Daya Pada Saluran

No	Kondisi	Arus Saluran				Susut daya
		R	S	T	N	
1	A	$\frac{I}{3}$	$\frac{I}{3}$	$\frac{I}{3}$	0	$\frac{1}{3} I^2 R$
2	B	$\frac{I}{2}$	0	$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{3}{4} I^2 R$
3	C	I	0	0	I	$2I^2 R$

4 Kesimpulan

Hasil analisis, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Susut daya pada saluran jaringan tegangan rendah dipengaruhi oleh sistem keseimbangan beban.
2. Susut daya paling besar pada system distribusi tegangan rendah yang menggunakan konfigurasi tiga-fasa empat kawat diperoleh pada saat beban terhubung pada salah-satu fasa saja. Pada kondisi ini susut daya disaluran dapat enam kali lebih besar dibandingkan sistem yang seimbang.

5 Daftar Pustaka

- [1] Djiteng Marsudi, "*Pembangkitan energi listrik*", Jakarta, PT. Gramedia.
- [2] P.T PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten, "*Pengendalian susut*"
- [3] P.T PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten, "*Penurunan susut distribusi*"
- [4] P.T PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten, "*Sambungan listrik*"
Desember, 2005.
- [5] Sumanto, Drs, MA. "*Teori transformator*". Yogyakarta. Andi Offset (1991).
- [6] Turan Gönen, "*Electric power distribution system engineering*" McGraw-Hill,
Inc. N.Y. 1986.
- [7] ZUHAI, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*". Jakarta.
PT. Gramedia Pustaka Utama. 2000.

Perancangan Penentuan Orientasi Lokasi Penempatan Strain Gage Pada Elemen Elastik Dinamometer Spindel

H. Ai Ruchiat Ir. MT.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani
e-mail : airuchiat@yahoo.com

Abstrak. Strain gage merupakan sebuah sensor / transducer tahanan yang dapat mengubah perubahan besaran mekanik (regangan) menjadi perubahan besaran listrik (tahanan). Untuk mendeteksi regangan yang terjadi pada elemen elastik dari sebuah dynamometer, digunakan empat buah strain gage yang dirangkai menjadi bentuk jembatan Wheatstone. Regangan yang terjadi pada elemen elastik berasal dari gaya pemotongan dan momen puntir yang terjadi pada ujung pahat sewaktu pahat melakukan pemotongan, regangan ini akan mengakibatkan perubahan tahanan listrik dari strain gage, yang selanjutnya akan menimbulkan beda tegangan pada simpul yang berhadapan dari jembatan Wheatstone (tegangan masukan dan keluaran). Beda teganan ini yang akan menentukan besarnya gaya pemotongan dan momen puntir yang terjadi sewaktu pahat melakukan pemotongan. Diperlukan dua buah jembatan Wheatstone pada dynamometer spindle, yaitu satu buah untuk mengukur besarnya momen puntir, dan satu buah lagi untuk mengukur besarnya gaya aksial yang terjadi pada ujung pahat freis.

Penentuan orientasi lokasi penempatan strain gage pada permukaan elemen elastik dynamometer perlu direncanakan dengan terlebih dahulu melakukan analisis tegangan dan regangan yang terjadi pada permukaan elemen elastik didasarkan pada gaya pemotongan dan momen puntir yang terjadi pada ujung pahat.

Tegangan keluaran dari Jembatan Wheatstone masih terlalu kecil untuk diproses pada penunjuk data, oleh karena itu perlu diperkuat pada Amplifier. Keluaran dari amplifier bisa langsung menjadi masukan pada penunjuk data *strip chart recorder*, atau perlu diubah terlebih dahulu menjadi data digital pada ADC, bila penunjuk data yang digunakan berupa monitor computer.

Kata kunci : *Strip chart recorder jembatan Wheatstone, pahat freis dan strain gage*

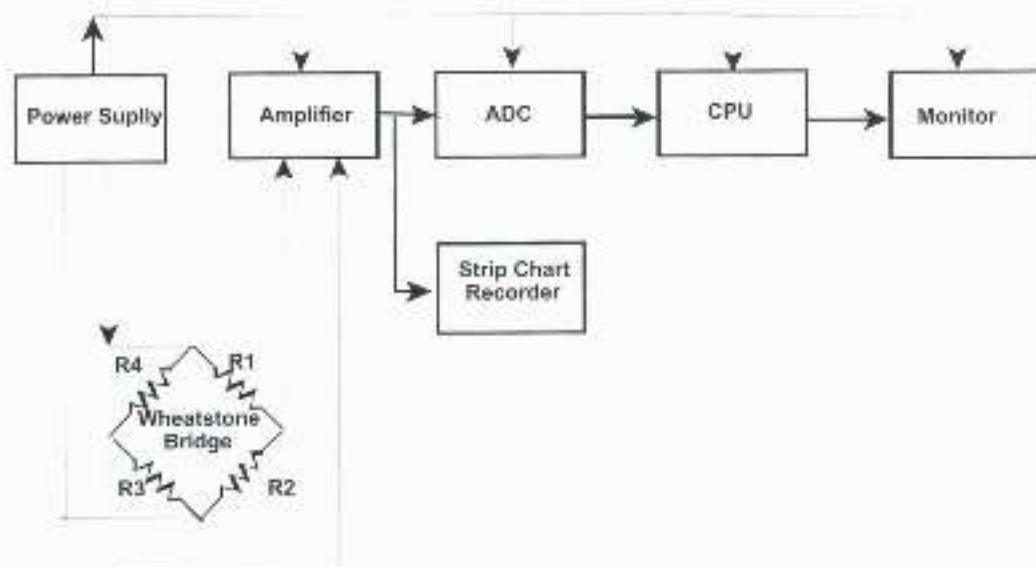
1 Pendahuluan

Dynamometer adalah alat untuk mengukur Gaya-gaya pemotongan saat proses pemesinan berlangsung. Gaya pemotongan yang berasal dari pahat diteruskan pada elemen elastik dari dynamometer di mana pada elemen elastik ini ditempatkan / ditempelkan empat buah strain-gage yang dirangkai membentuk jembatan Wheatstone. Fungsi dari strain-gage adalah untuk mendeteksi regangan yang terjadi pada elemen elastik. Regangan ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan tahanan listrik dari strain-gage. Akibat terjadinya perubahan tahanan listrik dari salah satu atau semua strain-gage akan menimbulkan beda tegangan pada titik simpul yang berhadapan dari jembatan Wheatstone sehingga tegangan keluaran Jembatan

Wheatstone tidak lagi berharga nol. Dalam keseimbangan di mana tahanan listrik dari keempat strain-gage berharga sama besar tegangan keluaran dari jembatan Wheatstone adalah nol. Besarnya tegangan keluaran ini setelah dikalikan dengan sensitivitas dinamometer akan menyatakan berapa besar momen puntir atau gaya pemotongan yang terjadi tergantung besaran mana yang akan diukur.

Perancangan penentuan orientasi lokasi penempatan strain gage pada elemen elastik dynamometer spindle akan menyangkut perancangan bagian permukaan yang menderita regangan tarik/tekan akibat gaya pemotongan dan momen puntir yang terjadi pada ujung pahat yang diteruskan pada permukaan ini. Pada dynamometer spindle elemen elastik ini merupakan bagian dari pemegang pahat.

Gambar 1 memperlihatkan gambar blok dynamometer spindle yang dipergunakan untuk mengukur gaya pemotongan dan momen puntir pada proses freis.



Gambar 1 Gambar Blok Dinamometer Spindel

Komponen utama dynamometer spindle terdiri dari komponen sebagai berikut :

1. Pemegang pahat yang dipasang pada spindle mesin Freis.
2. Strain-gage yang dirangkai membentuk Jembatan Wheatstone dan ditempelkan/dipasan pada permukaan bagian elastik dari pemegang pahat dengan orientasi tertentu sesuai dengan regangan yang mau diukur.
3. Powersupply.
4. Amplifier.
5. Analog To Digital Convertor (ADC).
6. CPU dan Monitor.

Prinsip kerja dynamometer adalah mengukur besarnya regangan yang terjadi pada permukaan pemegang pahat dengan alat pendeteksi regangan yaitu strain-gage .

Fungsi dari transducer adalah sebagai sensor yang dapat mengukur perubahan besaran mekanis (regangan) dan mengubahnya menjadi perubahan besaran listrik (tahanan). Selanjutnya 4 buah strain-gage dirangkai menjadi bentuk rangkaian Jembatan Wheatstone dan ditempatkan pada permukaan pemegang pahat dengan orientasi tertentu. Keluaran dari jembatan Wheatstone adalah tegangan yang menyatakan besar gaya atau momen puntir yang akan diukur. Tegangan keluaran dari jembatan Wheatstone ini kecil (dalam skala mV) dan sulit untuk ditampilkan pada alat penunjuk data sehingga perlu diperkuat dengan menggunakan amplifier. Keluaran dari amplifier berupa sinyal analog (tegangan) dapat langsung menjadi sinyal masukan untuk *strip chart recorder* dan keluarannya berupa grafik yang menyatakan hubungan antara sinyal analog dan gaya pemotongan (tarik/tekan) serta momen puntir yang kita cari besarnya. Bila penunjuk data keluaran yang kita gunakan adalah monitor computer (Akuisisi Data Berbasis Komputer) maka sinyal analog keluaran amplifier perlu diubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital pada ADC (Analog To Digital Converter) selanjutnya menjadi masukan pada CPU, dan setelah sinyal tersebut dimanipulasi pada CPU selanjutnya ditampilkan pada monitor yang berupa grafik hubungan waktu pemotongan dengan gaya serta momen puntir.

Dinamometer spindle digunakan untuk mengukur besarnya momen puntir dan gaya aksial yang terjadi, oleh karena itu akan terdapat dua pasang jembatan Wheatstone, satu pasang untuk mendeteksi momen puntir dan satu pasang lagi untuk mendeteksi besarnya gaya aksial.

Untuk mengetahui besarnya sensitivitas yang dimilikinya, maka pada dinamometer dilakukan kalibrasi dengan jalan memberi pembebanan puntir/tarik/tekan, selanjutnya diukur berapa besarnya tegangan keluaran dari jembatan Wheatstone untuk masing-masing besar pembebanan. Data-data hasil kalibrasi diproses dengan cara analisis data statistika menggunakan software WPX3.

2 Pemegang Pahat (*Tool Holder*)

Dinamometer spindle digunakan untuk mengukur gaya tekan dan momen puntir yang terjadi pada saat proses pemesinan (dalam hal ini proses freis) berlangsung dapat dibuat dengan merencanakan suatu pemegang pahat yang khusus yang didasarkan kepada gaya tekan dan momen puntir yang direncanakan akan terjadi pada spindle / pemegang pahat. Selanjutnya dengan menghitung sesuai dengan kaidah-kaidah perencanaan elemen mesin didapatkan ukuran dari pemegang pahat tersebut. Untuk komponen mesin perkakas perencanaan dimensi adalah terhadap kekakuan yang terjadi. Dengan demikian komponen tersebut tidak saja harus memenuhi syarat dipandang berdasarkan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diizinkan tetapi juga terhadap kekakuan yang terjadi. Pemegang pahat standard sesuai ISO 50.40, atau 30, telah direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat dari aspek tegangan dan kekakuan yang terjadi, oleh karena itu spesifikasi dari pemegang pahat yang akan digunakan diambil sesuai dengan standard ISO 40 seperti terlihat pada gambar 2.

Pemegang pahat tersebut juga berfungsi sebagai bagian elastik dari **dinamometer spindel** di mana strain-gage yang membentuk rangkaian Jembatan Wheatstone ditempatkan dengan orientasi tertentu disesuaikan dengan tujuan pengukuran.

Dimensi utama pemegang pahat dihitung berdasarkan kepada tegangan yang akan bekerja. Ada dua cara untuk menentukan dimensi komponen (pemegang pahat) yaitu pertama dengan menentukan dimensinya terlebih dahulu kemudian dihitung berapa tegangan yang diperbolehkan bekerja padanya. Cara ke dua dengan menghitung dahulu beban/tegangan yang akan bekerja selanjutnya dicari besarnya dimensi dengan mensyaratkan tegangan yang bekerja harus sama atau lebih kecil dari tegangan yang diizinkan dari bahan komponen tersebut.

Tegangan yang terjadi pada pemegang pahat adalah berupa tegangan puntir, lentur dan tekan yang diterima dari pahat (gaya pemotongan). Setelah dihitung berapa tegangan total maksimum yang terjadi selanjutnya dibandingkan dengan tegangan yang diizinkan sehingga didapat dimensi utama pemegang pahat. Dimensi pemegang pahat sesuai ISO 40 didapat berdasarkan urutan perhitungan seperti tersebut di atas dengan menitik beratkan terhadap kekakuan yang akan terjadi.

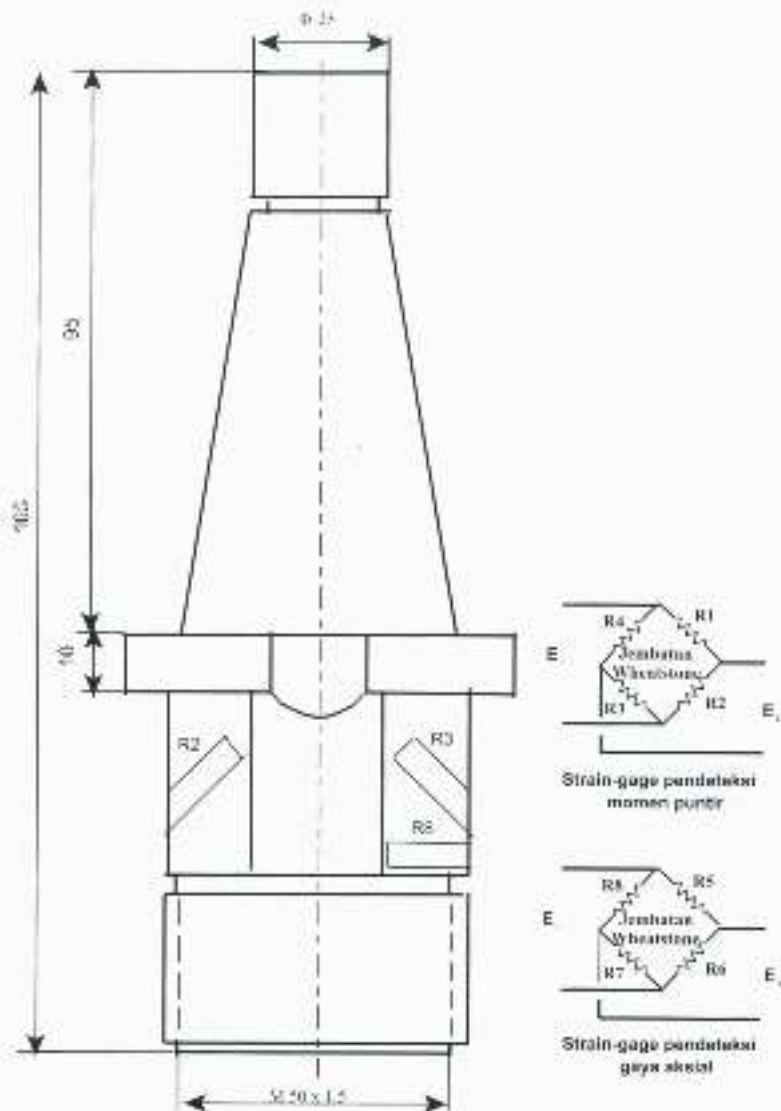
3 Strain-gage

Strain-gage adalah transducer tahanan yang dapat mengubah perubahan besaran mekanik (regangan) menjadi perubahan besaran listrik (tahanan). Transducer banyak digunakan sebagai alat pendeteksi regangan pada berbagai struktur seperti struktur pesawat terbang, kereta api, mesin perkakas dan sebagainya.

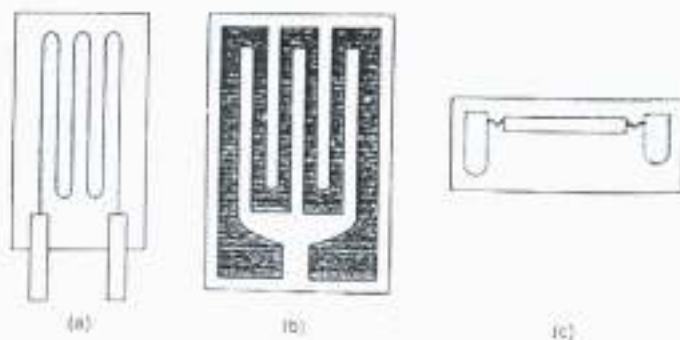
Untuk mengukur besarnya regangan yang terjadi pada bagian struktur adalah dengan cara melekatkan strain-gage pada bagian struktur tadi, sehingga strain-gage akan ikut mengalami regangan sesuai dengan besar regangan dari bagian struktur. Adanya regangan akan menimbulkan perpanjangan pada elemen strain-gage sehingga akan terjadi perubahan besarnya tahanan dari strain-gage.

Pada dinamometer strain-gage dirangkai membentuk jembatan Wheatstone, sehingga apabila terjadi perubahan besarnya tahanan dari masing-masing strain-gage akan menimbulkan perubahan tegangan pada titik yang berhadapan. Dengan mengukur perubahan tegangan ini maka perubahan beban yang bekerja pada bagian struktur akan diketahui. Perubahan tegangan akan sebanding dengan perubahan beban.

Terdapat tiga jenis strain-gage yaitu strain-gage kawat logam, foil logam, dan semikonduktor seperti Gambar 3.



Gambar 2 Pemegang Pahat



Gambar 3 Strain-gage : (a) kawat metal; (b) foil metal; (c) semikonduktor

Pemegang pialat direncanakan mempunyai kekakuan yang tinggi, sehingga regangan yang terjadi relatif kecil. Dengan demikian Strain-gage yang digunakan harus mempunyai faktor gage yang tinggi agar didapatkan sensitivitas dinamometer yang memadai. Dipilih strain-gage jenis semikonduktor yang memiliki faktor gage + 100.

Strain-gage merupakan transducer tahanan di mana apabila mengalami regangan akan menyebabkan perubahan tahanan listriknya. Dengan demikian perubahan tahanan listrik inilah yang merupakan ukuran terhadap besarnya regangan yang terjadi. Bagaimana hubungan yang terjadi antara regangan dan perubahan listrik dapat dijelaskan sebagai berikut.

Kawat penghantar yang merupakan elemen utama strain-gage seperti gambar 4, akan mengalami perpanjangan jika mengalami regangan (tarik). Bila panjang kawat semula l dan tahanan listriknya R , dan setelah perpanjangan panjangnya menjadi $l + \Delta l$, dan tahanan listriknya $R + \Delta R$.



Gambar .4 : Kawat penghantar yang mengalami regangan.

Besarnya tahanan listrik dari suatu penghantar dapat dihitung dengan persamaan :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.1)$$

Dimana :

- R = Tahanan listrik ; Ohm
- ρ = Resistivity dari material kawat Ωmm ;
- l = Panjang pengantar ; mm.
- A = Luas penampang kawat ; mm^2 .

Besaran pada persamaan (3.1) merupakan fungsi dari temperatur, besaran tersebut akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur. Dari hasil bagi diferensial terhadap temperatur dari logaritma persamaan tersebut diperoleh persamaan berikut.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} \quad (3.2)$$

Luas penampang semula dari kawat pada gambar 2.3 adalah :

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

Misalkan kawat pada gambar 3.4 mengalami perubahan panjang akibat tarikan yang bekerja padanya, sehingga diameternya berubah dari d menjadi d' , maka menurut persamaan poisson ratio :

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{d' - d}{d} = 2\mu \frac{\Delta l}{l} \quad (3.3)$$

Di mana μ adalah poisson rasio.

Substitusikan persamaan (3.3) pada persamaan (3.2) sehingga diperoleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} + 2\pi \frac{\Delta l}{l} \\ &= \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1 + 2\pi) \frac{\Delta l}{l} \end{aligned}$$

Mengingat $\Delta l/l$ adalah regangan ϵ , maka persamaan di atas dapat ditulis kembali menjadi :

$$\frac{\Delta R}{R} / \epsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho} / \epsilon + (1 + 2\mu) \tag{3.4}$$

Perubahan resistivity adalah sebanding dengan perubahan volumetrik dari material, yang dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} \Delta \rho &= m\rho \frac{\Delta v}{v} \\ \frac{\Delta \rho}{\rho} &= m \frac{\Delta v}{v} \end{aligned} \tag{3.5}$$

Volume kawat setelah perpanjangan dengan memperhitungkan kontraksi lateral adalah :

$$v' = (1 - \mu)^2 (1 + \epsilon)v$$

Perubahan volume kawat Δv adalah :

$$\begin{aligned} \Delta v &= v' - v \\ &= \{(1 - \mu)^2 (1 + \epsilon) - 1\}v \end{aligned}$$

Dengan menyelesaikan persamaan di atas diperoleh :

$$\frac{\Delta v}{v} = (1 - 2\mu) \frac{\Delta l}{l} \tag{3.6}$$

Substitusikan persamaan (3.6) ke dalam persamaan (3.5) dan persamaan (3.4) sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} / \epsilon &= (1 + 2\mu) + m(1 - 2\mu) \\ &= (1 + m) + 2\mu(1 - m) \end{aligned} \tag{3.7}$$

Di mana m adalah konstanta dari persamaan (3.5) dan yang besarnya tergantung material kawat yang digunakan. Bagi sebagian besar material-material strain gage memiliki $m = 1$. Oleh karena itu suku di sebelah kanan akan berharga 2.

Dengan demikian persamaan(3.7) menjadi persamaan berikut,

$$\frac{\Delta R}{R} / \epsilon = 2 \tag{3.8}$$

Harga pada persamaan (3.8) disebut sensitivitas regangan dari material logam yang bersangkutan dan umumnya dinyatakan dengan simbol k .

Persamaan (3.8) dapat dituliskan kembali menjadi :

$$\frac{\Delta R}{R} = k\epsilon \tag{3.9}$$

Di mana :

k = sensitivitas regangan (faktor gage).

ϵ = regangan ($\Delta l/l$)

Persamaan (3.9) menyatakan bahwa suatu perubahan tahanan listrik adalah sebanding dengan besarnya regangan yang dialami.

Untuk material semikonduktor kristal tunggal, persamaan yang diperoleh agak berbeda dari logam biasa. Di mana untuk semi konduktor :

$$\frac{\Delta \mu}{\mu} = \frac{\pi}{\sigma} \quad (3.10)$$

Seperti yang diketahui, semikonduktor memperlihatkan resistivity yang bervariasi terhadap besarnya tegangan σ . Parameter π disebut koefisien Piezo-resistiviti, yang harganya akan berubah-ubah tergantung dari arah sumbu kristal. Sedangkan πl menunjukkan suatu koefisien Piezoresistance untuk tegangan yang bekerja pada arah sumbu sensitivity dari strain gage.

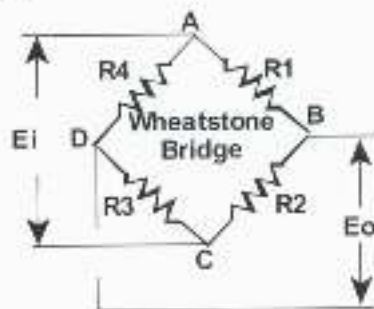
Substitusikan persamaan (3.10) ke dalam persamaan (3.5) dan (3.4) akan menghasilkan persamaan.

$$\frac{\Delta R}{R} / \epsilon = 1 + 2\mu + \pi l E \quad (3.10)$$

Bagi material semikonduktor, suku ke tiga dari Suku-suku di sebelah kanan tanda sama dengan, memberikan besaran yang jauh lebih besar daripada ke dua Suku-suku lainnya.

4 Jembatan Wheatstone

Jembatan Wheatstone merupakan bagian terpenting dari dinamometer yang digunakan untuk mengubah perubahan tahanan listrik dari strain-gage menjadi perubahan besaran tegangan. Jembatan Wheatstone ditempatkan pada permukaan elemen elastik dari dynamometer. Gambar 5 memperlihatkan bentuk dasar dari jembatan Wheatstone yang disusun dari rangkaian empat buah tahanan R_1 , R_2 , R_3 , dan R_4 .



Gambar 5 Jembatan Wheatstone

Hubungan tegangan keluaran (E_o) dengan tegangan masukan (E_i) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_o &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \left(\frac{\nabla R_3}{R_3} + \frac{\nabla R_1}{R_1} - \frac{R_2 \cdot \nabla R_4}{R_2 \cdot R_4} - \frac{\nabla R_2 \cdot R_4}{R_2 \cdot R_4} \right) \\
 &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \left(\frac{\nabla R_3}{R_3} + \frac{\nabla R_1}{R_1} - \frac{\nabla R_4}{R_4} - \frac{\nabla R_2}{R_2} \right) \\
 &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \left(\frac{\nabla R_1}{R_1} - \frac{\nabla R_2}{R_2} + \frac{\nabla R_3}{R_3} - \frac{\nabla R_4}{R_4} \right) \\
 &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \\
 &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)
 \end{aligned}$$

Dinamometer menggunakan empat buah strain gage dari jenis yang sama sehingga tahanan dan faktor gage sama besar. Dengan demikian $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$\begin{aligned}
 E_o &= \frac{E_i \cdot R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \\
 &= \frac{E_i \cdot R_2^2}{4R_1^2} k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \\
 &= \frac{E_i}{4} k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Dari persamaan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Tegangan keluaran (E_o) berbanding langsung dengan tegangan masukan (E_i). Tegangan keluaran maksimum akan didapat jika regangan yang terjadi pada masing-masing strain gage sama besarnya. Dan dengan mengikuti penempatan strain -gage sesuai konfigurasi strain-gage seperti pada gambar 5, maka strain gage 1 dan 3 harus menerima regangan positif (tarik), sedang strain gage 2 dan 4 mengalami regangan negatif (tekan), masing-masing dengan harga yang sama.
2. Strain-gage yang saling bersebelahan (R_1 dan R_2 atau R_3 dan R_4) pada jembatan Wheatstone akan saling mengurangi satu sama lain, sedang strain-gage yang saling berhadapan akan saling menjumlahkan satu sama lain (R_1 dan R_3)
3. Tegangan keluaran (E_o) akan lebih besar jika digunakan strain gage yang memiliki faktor k yang lebih besar, dan E_i yang besar namun E_i dibatasi agar arus yang melalui strain-gage tidak melebihi yang diizinkan (20 mA). Karena tahanan strain-gage paling besar 120 Ohm, maka tegangan eksitasi untuk jembatan Wheatstone maksimum 4 Volt.

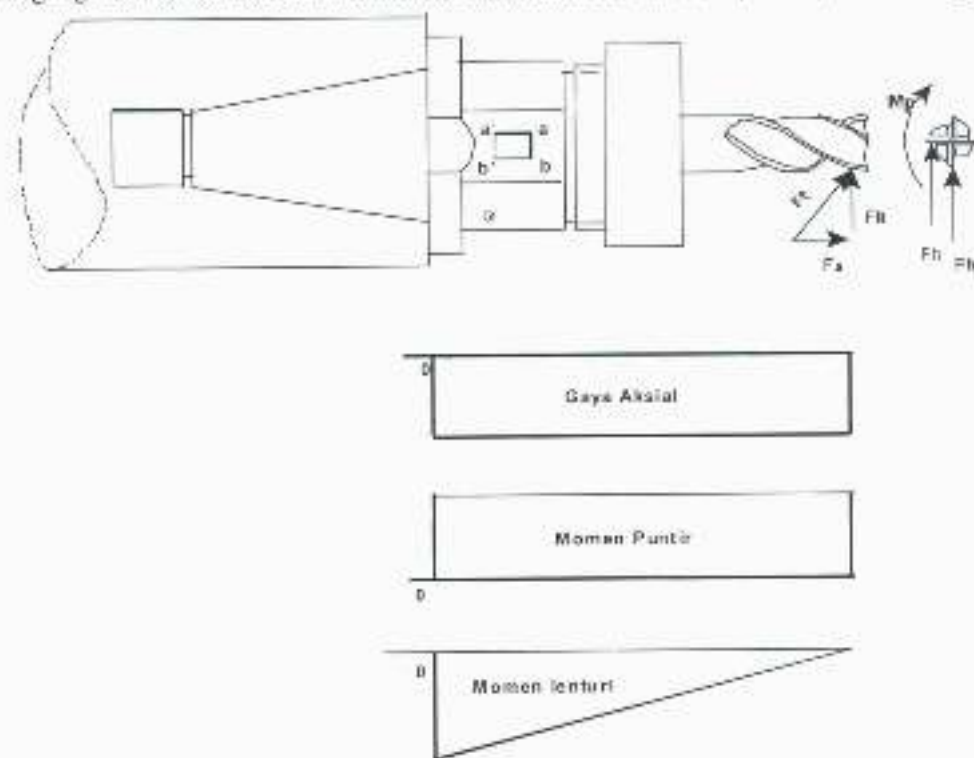
5 Analisis Tegangan dan Regangan pada Elemen Elastik Dinamometer

Elemen elastik dinamometer merupakan tempat atau lokasi di mana strain-gage akan

dilekatkan. Pada bagian ini diharapkan akan mempunyai sifat elastisitas yang tinggi sehingga akan memberikan tegangan keluaran dari jembatan Wheatstone yang tinggi. Elemen elastik pada dinamometer spindel tanpa kabel ini terletak pada permukaan pemegang pahat yang dirancang sedemikian rupa agar pemasangan strain-gage dapat dilakukan dengan benar. Pada bagian elastik ini perlu dilakukan analisis tegangan dan regangan yang terjadi, sehingga dapat ditentukan orientasi lokasi penempatan dari strain-gage sesuai dengan besaran yang akan diukur.

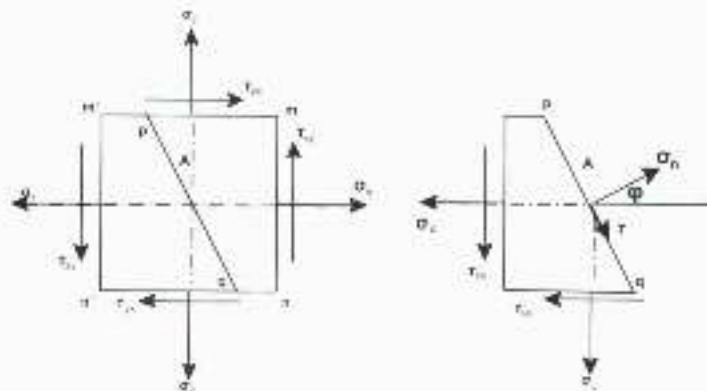
Tegangan yang terjadi pada permukaan pemegang pahat berasal dari puntiran, lenturan dan gaya aksial yang bekerja pada pahat saat proses pemotongan berlangsung. Gambar 6 memperlihatkan momen puntir dan lentur serta gaya aksial (tekan) yang bekerja pada pemegang pahat/ elemen elastik dinamometer.

Ambil suatu elemen kecil $abb'a'$ dari permukaan elemen elastik di mana strain-gage akan ditempatkan. Pada elemen kecil ini bekerja tegangan tarik dalam arah sumbu x dan geseran dalam dua arah yang saling tegak lurus yang bekerja seperti pada gambar 7. Analisis tegangan dan regangan dilakukan untuk menentukan lokasi dan orientasi dari penempatan strain-gage.



Gambar 6 Gaya aksial, momen puntir dan momen lentur yang bekerja elemen elastik dinamometer

Untuk melakukan analisis tegangan pada elemen $abb'a'$ dari elemen Elastik dinamometer, terlebih dahulu an kita lakukan analisis terhadap suatu elemen pelat yang dibebani oleh tegangan tarik dan geser dalam dua arah yang saling tegak lurus seperti terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 7. Elemen dengan beban tarik dan geser dalam dua arah yang saling tegak lurus

Dalam keadaan keseimbangan Gaya-gaya yang bekerja dalam arah garis normal (tegak lurus penampang p-q) adalah.

$$\begin{aligned}
 \sigma_n \cdot A &= (\sigma_x \cdot A \cos \varphi) \cos \varphi + (\sigma_y \cdot A \sin \varphi) \cdot \sin \varphi + \\
 &\quad (\tau_{xy} \cdot A \cos \varphi) \cdot \sin \varphi + (\tau_{yx} \cdot A \sin \varphi) \cdot \cos \varphi \\
 \sigma_n &= (\sigma_x \cdot \cos \varphi) \cos \varphi + (\sigma_y \cdot \sin \varphi) \cdot \sin \varphi \\
 &\quad + (\tau_{xy} \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \varphi + (\tau_{yx} \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \varphi \\
 \sigma_n &= \sigma_x \cos^2 \varphi + \sigma_y \sin^2 \varphi + 2\tau_{xy} \cdot \sin \varphi \cos \varphi \\
 \sigma_n &= \sigma_x \cos^2 \varphi + \sigma_y \sin^2 \varphi - 2\tau_{xy} \cdot \sin \varphi \cos \varphi \\
 \sigma_n &= \sigma_x \left(\frac{1 + \cos 2\varphi}{2} \right) + \sigma_y \left(\frac{1 - \cos 2\varphi}{2} \right) + 2\tau_{xy} \cdot \frac{\sin 2\varphi}{2} \\
 \sigma_n &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\varphi + \tau_{xy} \cdot \sin 2\varphi
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

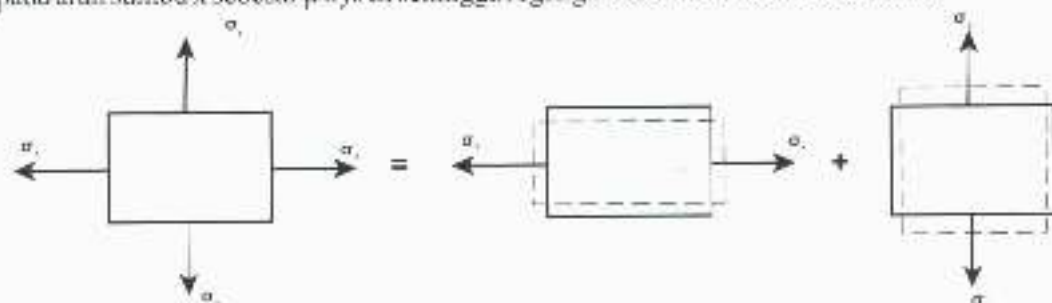
Keseimbangan gaya-gaya yang bekerja dalam arah bidang p-q adalah :

$$\begin{aligned}
 \tau \cdot A &= (\sigma_x \cdot A \cos \varphi) \sin \varphi - (\sigma_y \cdot A \sin \varphi) \cos \varphi + (\tau_{xy} \cdot A \cos \varphi) \cos \varphi - \\
 &\quad (\tau_{yx} \cdot A \sin \varphi) \sin \varphi \\
 \tau &= \sigma_x \cdot \cos \varphi \sin \varphi - \sigma_y \sin \varphi \cos \varphi + \tau_{xy} \cdot A \cos^2 \varphi + \tau_{yx} \sin^2 \varphi \\
 \tau &= \sigma_x \cdot \cos \varphi \sin \varphi - \sigma_y \sin \varphi \cos \varphi + \tau_{xy} \cdot A \cos^2 \varphi + \tau_{yx} \sin^2 \varphi \\
 \tau &= (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \cos \varphi \sin \varphi + \tau_{xy} (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) \\
 \tau &= \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\varphi + \tau_{xy} \cos 2\varphi
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

Analisis regangan pada elemen yang dibebani tegangan tarik/tekan dalam dua arah yang saling tegak lurus adalah sebagai berikut (lihat Gambar 8).

Perpanjangan dalam arah sumbu x tidak saja dipengaruhi oleh tegangan dalam arah sumbu x atau σ_x tetapi juga oleh tegangan dalam arah sumbu y atau σ_y . Regangan pada sumbu x yang

diakibatkan oleh σ_x adalah σ_x / E . Tegangan tarik σ_y akan menimbulkan kontraksi lateral pada arah sumbu x sebesar $\mu \sigma_y / E$, sehingga regangan dalam arah sumbu x adalah :



Gambar 8. Regangan pada akibat tegangan yang terjadi pada dua arah yang saling tegak lurus

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} \quad (3.20)$$

Regangan dalam arah sumbu y adalah :

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} \quad (3.21)$$

Kontraksi dalam arah sumbu z adalah :

$$\begin{aligned} \epsilon_z &= -\mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} \\ &= -\frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \end{aligned}$$

Dalam keadaan khusus dimana $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$, maka :

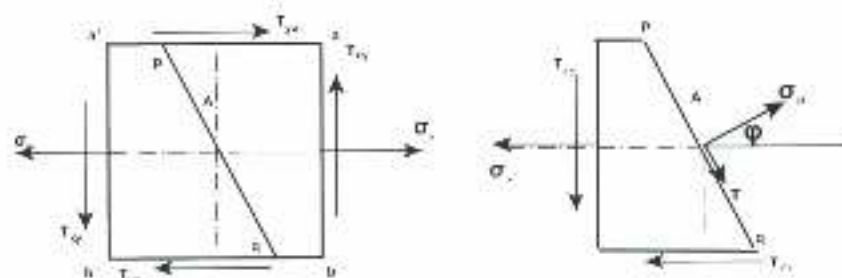
$$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{\sigma}{E} (1 - \mu)$$

Dari ke dua persamaan (3.20) dan (3.21) diperoleh σ_x dan σ_y yang merupakan fungsi dari regangan ϵ_x dan ϵ_y , sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{(\epsilon_x + \mu \epsilon_y) \cdot E}{1 - \mu^2} \\ \sigma_y &= \frac{(\epsilon_y + \mu \epsilon_x) \cdot E}{1 - \mu^2} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Analisis tegangan dan regangan terhadap elemen 'abb'a' dari permukaan bagian elastik dinamometer sebagai berikut.

Pada Gambar 9, tegangan tarik σ_x dan tegangan σ_y masing-masing berasal dari gaya aksial, momen puntir dan momen puntir yang bekerja pada pahat yang diteruskan pada elemen elastik dinamometer.



Gambar 9. Tegangan pada elemen dari permukaan elemen elastik dinamometer

Tegangan normal σ_n dan tegangan τ sesuai dengan persamaan (3.18) dan (3.19) dengan memberikan harga untuk $\sigma_y = 0$, dan arah dari σ_n dan τ berlawanan, sehingga didapat persamaan sebagai berikut.

Tegangan normal :

$$\sigma_n = \tau_{xy} \sin 2\phi - \frac{\sigma_x}{2} - \frac{\sigma_y}{2} \cos 2\phi \quad (3.23)$$

Tegangan geser :

$$\tau = \tau_{xy} \cos 2\phi + \frac{\sigma_x}{2} \sin 2\phi \quad (3.24)$$

Untuk lokasi penempatan strain-gage yang akan mendeteksi momen puntir, maka harus dipilih sudut ϕ yang akan memberikau regangan maksimum pada strain-gage. Dalam hal ini diambil sudut $\phi 1 = 45^\circ$ dan $\phi 2 = 135^\circ$, Sehingga tegangan normalnya menjadi .

$$\begin{aligned} \sigma_{n1} &= \tau_{xy} + \frac{\sigma_x}{2} \\ \sigma_{n2} &= -\tau_{xy} + \frac{\sigma_x}{2} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Dengan demikian penempatan strain-gage untuk mendeteksi momen puntir adalah dua buah ditempatkan dengan membuat sudut $\phi=45^\circ$ dengan sumbu x, dan lokasinya pada elemen elastik saling berhadapan, sedang pada rangkaian jembatan Wheatstone (dengan bentuk seperti pada gambar 4) menempati posisi 1 dan 3. Dua buah lagi ditempatkan dengan membuat sudut 135° dengan sumbu x, dan lokasi pada elemen elastik dinamometer saling berhadapan, dan lokasi pada rangkaian Jembatan Wheatstone pada menempati posisi 2 dan 4.

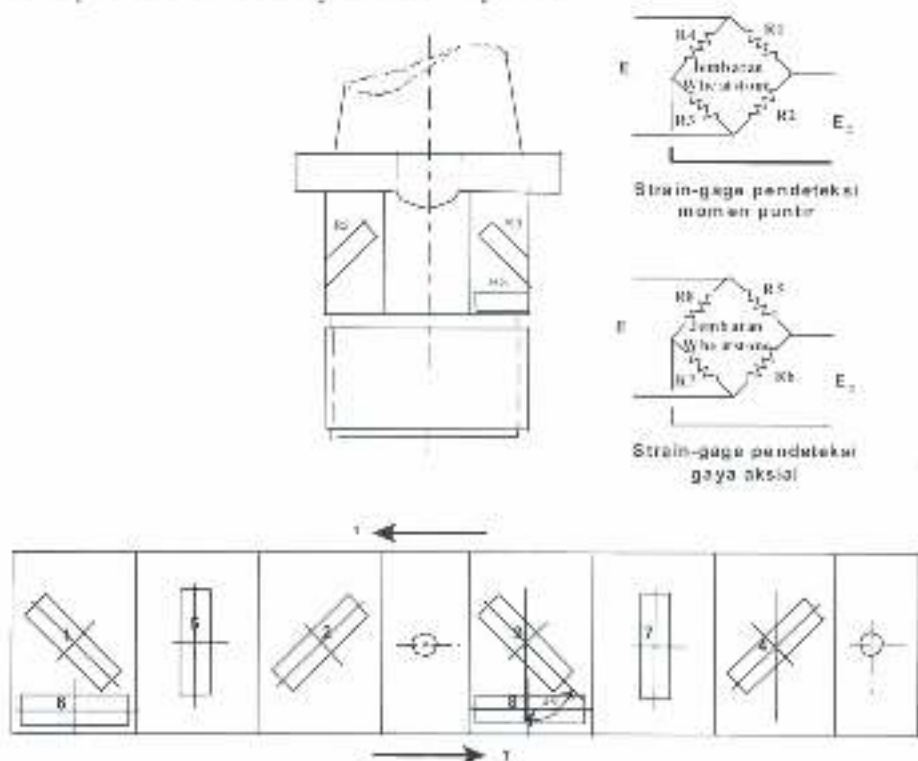
Regangan yang terjadi pada strain-gage 1 dan 3 adalah $\sigma n1/E$, sedang regangan yang terjadi pada strain-gage 2 dan 4 adalah $\sigma n2/L$.

Untuk lokasi kedudukan strain-gage yang akan mendeteksi gaya aksial diambil sudut $\phi=0^\circ$. Dengan demikian penempatan strain gage ini adalah dua buah masing-masing membuat sudut $\phi=0^\circ$, dan lokasi pada elemen elastik saling berhadapan, sedang pada rangkaian Jembatan Wheatstone menempati posisi 5 dan 7. Dan dua buah lagi Masing-masing membuat sudut 90° dengan sumbu x, dan lokasi pada elemen elastik saling berhadapan, sedang pada rangkaian Jembatan Wheatstone menempati posisi 6 dan 8.

6 Orientasi Lokasi Penempatan Strain-gage Pada Elemen Elastik Dinamometer

Orientasi lokasi penempatan strain-gage pada elemen elastik Jembatan Wheatstone serta orientasi

masing-masing strain-gage pada sumbu x dapat dijelaskan pada gambar 10. Gambar 11, Memperlihatkan photo orientasi penempatan strain gage yang membentuk 2 buah Jembaran Wheatstone pada elemen elastic dynamometer spindel.



Gambar 10. Orientasi penempatan strain-gage pada elemen elastik dynamometer



Gambar 11. Orientasi Penempatan Strain gage Pada Elemen Elastik Dynamometer Spindel

7 Kesimpulan Dan Saran

1. Strain gage merupakan sensor / transducer tahanan yang dapat mengubah perubahan besaran mekanik (regangan) menjadi perubahan besaran listrik (tahanan).

2. Untuk mengukur gaya pemotongan / momen puntir yang terjadi pada ujung pahat freis sewaktu melakukan pemotongan dilakukan dengan mengukur regangan yang terjadi pada elemen elastic dinamometer dengan menggunakan strain gage yang dirangkai menjadi jembatan Wheatstone dan ditempelkan pada permukaan elastic dynamometer.
3. Dengan mengukur beda tegangan antara tegangan masukan dan keluaran dari jembatan Wheatstone dan kemudian beda tegangan tersebut dikalikan dengan sensitivitas dynamometer, hasilnya merupakan besarnya gaya pemotongan / momen punter yang diteliti.
4. Orientasi lokasi penempatan strain gage pada elemen elastik harus searah dengan regangan maksimum yang terjadi pada permukaan elemen elastik.
5. Tegangan normal pada elemen elastic disebabkan oleh gaya pemotongan / momen punter, besar dan arah tegangan normal maksimum perlu dicari terlebih dahulu dengan melakukan analisis tegangan dan regangan yang terjadi pada permukaan elemen elastic.
6. Dari analisis tegangan dan regangan diketahui orientasi lokasi penempatan strain gage adalah sebagai berikut :
 - a. Untuk mengukur momen puntir adalah dua buah ditempatkan dengan membuat sudut $\phi = 45^\circ$ dengan sumbu x, dan lokasinya pada elemen elastic saling berhadapan, sedang pada rangkaian jembatan Wheatstone (dengan bentuk sesuai Gambar 5) menempati posisi 1 dan 3. Dua buah lagi ditempatkan dengan membuat sudut 135° dengan sumbu x, dan lokasi pada elemen elastic dynamometer saling berhadapan, sedang lokasi pada rangkaian jembatan Wheatstone menempati posisi 2 dan 4. Regangan yang terjadi pada strain gage 1 dan 3 adalah σ_x/E , sedang regangan yang terjadi pada strain gage 2 dan 4 adalah σ_x/E .
 - b. Untuk mengukur gaya aksial adalah dua buah masing-masing membuat sudut 0° dengan sumbu x, dan lokasinya pada elemen elastic saling berhadapan, sedang pada Jembatan Wheatstone menempati posisi 5 dan 7. Dan dua buah lagi masing-masing membuat sudut 90° dengan sumbu x, dan lokasinya pada elemen elastic saling berhadapan, sedang pada rangkaian Jembatan Wheatstone menempati posisi 6 dan 8.
7. Photo penempatan strain gage pada elemen elastic seperti pada Gambar 11.

8 Daftar Pustaka

1. Taufiq Rochim, (2007), *Proses Pemesinan*(Buku 1,2,3,4), Penerbit ITB.
2. Taufiq Rochim, (2006), *Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometri* (Buku 1,2), Penerbit ITB.
3. Taufiq Rochim, (2006), *Perancangan Penelitian Dan Analisis Data Statistik*, Penerbit ITB.
4. Mikell P. Groover, (2002), *Fundamentals Of Modern Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc.
5. S Timoshenko, (1976), *Strength of Materials*, Robert E. Krieger Publishing Co. Inc, New York.
6. Albert Paul Malvino, (1979), *Electronic Principles*, McGrew-Hill Book Company.
7. W. Bolton, (1995), *Mechatronics*, Eddison Wesley Longman Limited, England.
8. Richard S. Figliola and Donald E. Beasley, (1991), *Theory And Design For Mechanical Measurements*.

Analisis Aspek Mekanis Kegagalan Proses *Hot Rolling* pada Pembuatan Pelat Kuningan Hasil Coran

Pradoto Ambardi

Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani
Ambardi_pradoto@yahoo.co.id

Abstrak. Retak pada pelat kuningan yang mengalami proses pengerolan panas satu tahap dari tebal 13 mm menjadi 7 mm terjadi diseluruh permukaan dengan arah tegak lurus arah pengerolan. Hal ini menyebabkan keinginan untuk mendapatkan tebal akhir pelat 3,1^{mm} mm tidak dapat dipenuhi.

Hasil analisis mekanik menunjukkan bahwa laju regangan ($\dot{\epsilon}$) yang diberikan pada saat pengerolan satu tahap menghasilkan nilai yang lebih besar dari pada sensitivitas laju regangan (m). Kondisi tersebut memberikan indikasi bahwa reduksi yang dilakukan dalam satu tahap pengerolan terlalu besar sehingga material tidak mampu menahan deformasi tersebut yang pada akhirnya menghasilkan retak diseluruh permukaan pelat.

Kata kunci : *Hot rolling, kuningan, analisa kegagalan, laju regangan dan retak*

1 Pendahuluan

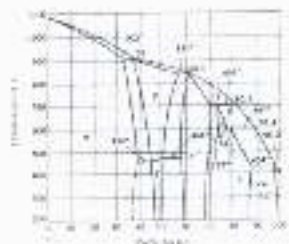
Pembuatan kuningan lembaran didahului oleh proses pengecoran (*casting*) yang dilanjutkan dengan pengerolan. Proses reduksi ketebalan *slab* kuningan menjadi lembaran yang masih cukup tebal dilakukan dengan cara pengerolan panas (*hot rolling*). Tebal awal *slab* adalah 13 mm dan tebal akhir yang diinginkan sebesar 3,1^{mm} mm tanpa retak. Namun demikian, ketika proses *hot rolling* dilakukan dalam satu tahap dari ketebalan *slab* 13 mm menjadi pelat dengan tebal 7 mm (reduksi 46%), terjadi retakan di seluruh permukaan *slab*.

Hal tersebut akan menghambat laju produktivitas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab timbulnya retakan pada *slab* hasil *hot rolling*. Setelah itu dilanjutkan dengan pemberian rekomendasi untuk menghindari terulangnya kembali kejadian tersebut.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Kuningan (*Brass*)

Kuningan merupakan paduan antara Cu dengan Zn. Diagram fasa untuk Cu-Zn dapat dilihat pada Gambar 2.1. Fasa utama yang terdapat dalam sistem tersebut adalah α , β , γ , dan δ , tetapi yang umumnya penting dalam industri adalah fasa α yang memiliki sel satuan *face centered cubic* (FCC) dan β yang memiliki sel satuan *body centered cubic* (BCC).

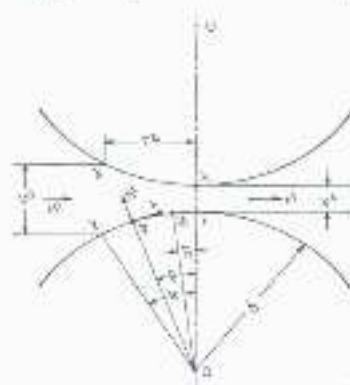


Gambar 1 Diagram fasa Cu-Zn

Kuningan dengan kandungan 30% Zn sangat mudah diolah bentuk dalam temperatur kamar dan memiliki *deep drawability* yang baik. Pada temperatur 300 – 800°C sifat plastisitas kuningan tersebut akan naik. Kuningan dengan dengan kandungan sekitar 40% Zn memiliki mampu mesin yang baik pada temperatur kamar dan bersifat cukup kuat dan keras, terutama jika mengandung 1% - 2% Pb. Paduan dengan kandungan 45% Zn memiliki kekuatan yang sangat tinggi tetapi tidak dapat dikerjakan, jadi hanya digunakan sebagai paduan cor.

2.2 Hubungan Geometri Dan Gaya Pada Pengerolan

Hubungan geometri pengerolan dengan gaya-gaya yang terlibat dalam proses deformasi logam dapat dilihat dalam Gambar 2.2. Dari gambar tersebut terlihat, *slab* dengan tebal h_1 dan kecepatan v_1 memasuki sel rol dan keluar melewati celah rol dengan tebal h_2 . Jika tidak ada penambahan lebar *slab* maka seluruh deformasi pada arah vertikal diubah menjadi perpanjangan pada arah rol sehingga kecepatan keluar *slab* v_2 lebih besar dari pada v_1 .



Gambar 2. Gaya-gaya yang bekerja pada proses pengerolan

Titik netral N (*no-slip point*) adalah titik dimana kecepatan permukaan rol sama dengan kecepatan lembaran. Antara bidang masuk XX sampai titik N, lembaran bergerak lebih lambat dibanding permukaan rol sehingga terjadi gesekan yang menyebabkan lembaran tertarik diantara rol. Pada daerah sebelah kanan titik N, lembaran bergerak lebih cepat dibanding permukaan rol.

Luas G permukaan kontak antara slab dan rol sama dengan lebar lembaran b dikali panjang proyeksi busur kontak L_p ,

$$L_p = \sqrt{R(h_1 - h_2)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Karena R adalah jari-jari rol, maka tekanan rol spesifik adalah

$$p = P/(b \times L_p) \quad \dots \dots \dots (2)$$

dimana P = beban pengerolan atau gaya rol untuk menekan slab.

Sudut antara bidang masuk dengan garis pusat pengerolan dinamakan sudut kontak. Komponen vertikal gaya normal adalah $P \sin \alpha$ dan komponen horizontal gaya gesek adalah $F \cos \alpha$. Agar *slab* dapat memasuki rol tanpa bantuan gaya dari luarnya maka $F \cos \alpha = P \sin \alpha$ atau $F/P = \tan \alpha$, tetapi terlihat bahwa $F = P$, maka koefisien gesek = $\tan \alpha$. Jadi agar proses pengerolan dapat berlangsung maka : $\tan \alpha$.

3 Investigasi Lapangan dan Visualisasi

3.1 Tahapan proses pengerolan

a. Geometri slab kuningan

Tabel 1 Geometri pelat kuningan yang mengalami pengerolan panas

	Sebelum Hot rolling	Setelah Hot rolling	Keterangan
Lebar (mm)	70	70	Retak
Tebal (mm)	13	7	

- b. Slab dipanaskan pada $T = 700^{\circ}\text{C}$ tanpa *soaking time* atau *holding time*, langsung di-rol dari ketebalan 13 mm menjadi 7 mm dalam satu tahap pengerolan (*single pass*) sehingga dihasilkan retakan yang menyeluruh di permukaan pelat. Visualisasi retakan pada pelat kuningan dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3 Retakan pada permukaan pelat kuningan ($t = 7$ mm) hasil Hot Rolling. Non-etch. Pembesaran 4,5x.

3.2 Spesifikasi mesin roll :

Diameter roll	: 104 mm
Lebar roll	: maksimum 140 mm
Celah roll	: maksimum 15 mm
Behan maksimum	: 20 ton
Keccepatan roll	: 8 mm/det

4 Pengujian Laboratorium

4.1 Pemeriksaan Komposisi Kimia

Tabel 2 Hasil pengujian Komposisi kimia (%)

Unsur	Standar DIN 17660	Hasil Uji
Cu	71,00 - 73,00	71,500
Zn	Remainder	28,390
Pb	0,05 max.	0,057
Sn	0,02 max.	0,027
Fe	0,05 max.	0,040
Ni	0,2 max.	0,005
Mn	0,02 max.	0,001
Al	0,02 max.	0,001

4.2 Pengujian Kekerasan

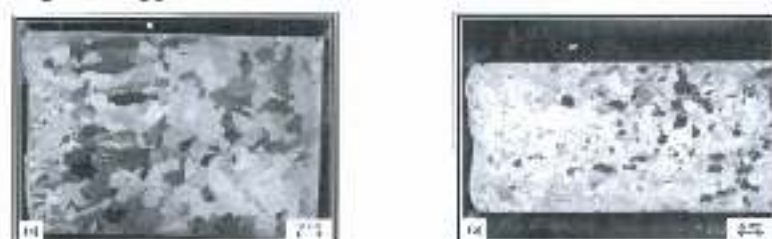
Pengujian kekerasan yang dilakukan pada arah tebal ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 3 Hasil pengujian kekerasan pelat kuningan sebelum dan sesudah *hot rolling* (VHN)

No. Uji	Kekerasan [VHN]			
	Sebelum Hot Rolling		Setelah Hot Rolling	
	Permukaan	Tengah	Permukaan	Tengah
1	93,5	60,0	78,1	62,2
2	117	66,3	73,2	60,3
3	94,8	64,9	75,2	67,0
4	98,3	65,7	75,4	66,6
5	98,1	67,2	74,6	64,5
Rata-rata	98,74	64,82	75,3	64,1

4.3 Pemeriksaan Struktur Makro

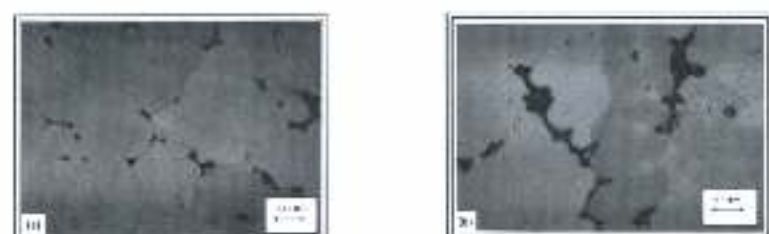
Pemeriksaan struktur makro dilakukan pada material awal sebelum diroll panas dan setelah diroll panas dengan menggunakan etsa 10 ml HNO₃ + 90 ml aquadest.



Gambar 4 Struktur makro slab kuningan. (a) Sebelum *hot rolling*, (b) Sesudah *hot rolling*

4.4 Pemeriksaan Struktur Mikro

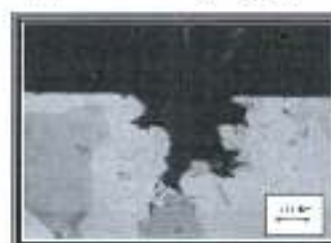
Pemeriksaan struktur mikro dilakukan pada material awal sebelum diroll dan sesudah diroll pada arah tebal. Bahan etsa yang digunakan adalah larutan yang terdiri dari 50 ml CrO₃ + HCl (1-2 tetes).



Gambar 5 Struktur mikro slab kuningan sebelum di-*hot rolling* memperlihatkan adanya porositas, rongga susut interdendritik, dan inklusi. (a) Arah memanjang, (b) arah melintang.



Gambar 6 Struktur mikro pelat kuningan setelah diroll panas memperlihatkan butir fasa yang memiliki *twinning*.



Gambar 7 Penampang retakan pada pelat kuningan setelah diroll panas.

5 Analisis Kegagalan

Retakan yang terjadi hampir diseluruh permukaan pelat kuningan ketika dirol panas dalam satu tahap dari tebal $t_1 = 13$ mm menjadi $t_2 = 7$ mm memiliki arah tegak lurus terhadap arah pengerolan. Berdasarkan data-data yang terkumpul maka analisis data dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu analisis metalurgis dan analisis mekanik.

5.1 Analisis metalurgis

Berdasarkan komposisinya, *slab* kuningan yang digunakan dalam proses *hot rolling* termasuk kuningan α atau *admiralty brass* (Tabel 4.1) yang memiliki struktur mikro dengan fasa α , temperatur cair $T_m = 935$ °C dan temperatur *hot working* adalah 650 – 800°C. Keberadaan fasa α menyebabkan material tersebut memiliki mampu bentuk yang tinggi dan ulet.

Kekerasaan yang lebih tinggi pada bagian dekat permukaan dibandingkan dengan bagian tengah pada arah tebal (Tabel 4.2) disebabkan karena kecepatan pendinginan pada bagian permukaan lebih tinggi dari pada bagian tengah. Tidak adanya peningkatan kekerasan pelat setelah di-*hot roll* disebabkan karena setelah mengalami pengerolan, temperatur akhir pelat kuningan masih berada di atas temperatur rekristalisasi sehingga mekanisme pelunakan dan rekristalisasi dinamik masih bisa terjadi.

Struktur *columnar* (Gambar 4.1.(u)) pada *slab* sebelum pengerolan menunjukkan bahwa *slab* dihasilkan dari proses pengecoran, dimana pembekuan dimulai dari daerah yang bersentuhan dengan dinding cetakan dan berlanjut ke bagian tengah. Selain itu dari Gambar 4.2.(a) dan 4.2.(b) terlihat adanya cacat coran berupa *shrinkage porosity* yang terbentuk di daerah *interdendritik* dan *Gasporosity* akibat udara / gas yang terjebak.

Setelah mengalami pengerolan sampai ketebalan 7 mm, struktur mikro pelat kuningan relatif lebih *equiaxial* dan memperlihatkan adanya *twinning*. Porositas gas dan *shrinkage porosity* pada pelat tersebut jauh berkurang dibandingkan dengan *slab* sebelum mengalami pengerolan.

5.2 Analisis Mekanis

Perencanaan proses pengerolan selain meninjau teknologi proses dan aspek metalurgi pada benda kerja, juga harus mencakup perkiraan besarnya gaya pengerolan. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan ukuran besarnya mesin yang diperlukan. Adapun data yang terkumpul adalah sebagai berikut:

Lebar <i>slab</i> , b	– 70 mm
Tebal awal <i>slab</i> , h_0	– 13 mm
Tebal akhir <i>slab</i> , h_f	– 7 mm
Radius roll, R	– 52 mm
Kecepatan putar roll,	– 8 mm/det
Koefisien gesekan	– 0.34 (asumsi)

Pada $T = 700$ °C, material $So M, 71 CuZn$ (*admiralty brass*) memiliki nilai sensitivitas laju regangan $m = 0,157$ dengan tegangan alir $\sigma_a = 15,3$ Kg/mm² pada laju regangan $\dot{\epsilon} = 10$ det⁻¹.

5.2.1 Perhitungan beban pengerolan

- Panjang proyeksi busur kontak L_p

$$L_p = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{52 \times (13 - 7)} = 17,66 \text{ mm}$$

- Besarnya sudut kontak α

$$\tan \alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \sqrt{\frac{6}{52}} = 0,34$$

$$\alpha = 18,7^\circ$$

- Harga reduksi maximum (Δh_{max}) untuk mesin

$$\Delta h_{max} = \mu^2 R = 0,34^2 \times 52 = 6,01 \text{ mm}$$

$$\text{dimana } \mu = \tan \alpha$$

- Besarnya reduksi yang dilakukan di lapangan, q

$$\Delta h = h_0 - h_f = 13 - 7 = 6 \text{ mm}$$

$$q = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100\% = \frac{6}{13} \times 100\% = 46\%$$

Jika dibandingkan antara Δh_{max} dengan persentase reduksi yang dilakukan pada saat pengerolan panas dapat diketahui bahwa reduksi atau penipisan *slab* dalam satu tahap pengerolan sama dengan harga reduksi maksimum proses, sehingga dapat dikatakan bahwa proses reduksi yang dilakukan masih cukup aman tetapi memiliki nilai yang sangat kritis. Sebaiknya nilai reduksi ketebalan yang dilakukan harus dibawah nilai reduksi maksimumnya, sehingga *slab* yang di-hot rolling berada dalam kondisi yang aman untuk ditipiskan.

- Laju regangan yang diberikan, $\dot{\epsilon}v = \frac{L_p}{t} \rightarrow t = \frac{L_p}{\dot{\epsilon}} = \frac{17,66}{8} = 2,21 \text{ detik}$

t = lamanya waktu putar roll sepanjang busur kontak atau lamanya reduksi,

$$\dot{\epsilon} = \frac{\ln \frac{h_0}{h_f}}{t} = \frac{\ln \frac{13}{7}}{2,21} = 0,3 \text{ det}^{-1}$$

- Tegangan alir (σ_0) slab kuningan pada laju regangan $\dot{\epsilon} = 0,3 \text{ det}^{-1}$

$$\sigma_0 = c (\dot{\epsilon})^m$$

Pada $T = 700^\circ\text{C}$ dengan $\dot{\epsilon} = 10 \text{ det}^{-1}$

$$15,3 = c (10)^{0,157} \text{ ,maka } c = \frac{15,3}{10^{0,157}} = 10,66$$

➤ Tegangan alir yang terjadi pada saat proses pengerolan panas slab kuningan :

$$\sigma_o = 10,66 (0,3)^{0,157} = 8,83 \frac{kg}{mm^2}$$

➤ Beban pengerolan pada saat proses pengerolan

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_o \left[\frac{1}{Q} (e^Q - 1) b \sqrt{R \Delta h} \right]$$

$$\bar{h} = \frac{h_o + h_f}{2} = \frac{13 + 7}{2} = 10 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\mu L_f}{\bar{h}} = \frac{0,34 \times 17,66}{10} = 0,6$$

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} 8,83 \left[\frac{1}{0,6} (e^{0,6} - 1) 70 \sqrt{52 \times 6} \right] = 17273,83 \text{ kg}$$

$$P = 17,3 \text{ ton}$$

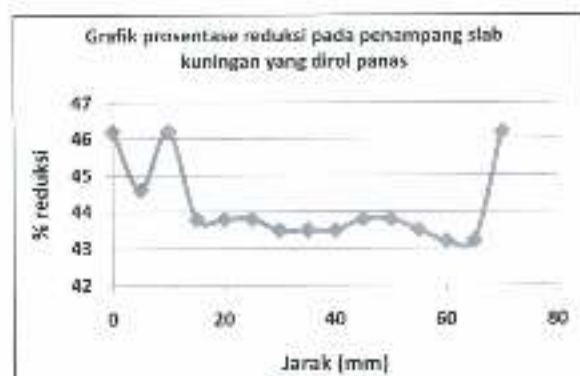
5.2.2 Analisis keseragaman deformasi

Proses pemanasan sampai temperatur 700 °C tanpa *holding time* yang cukup akan sangat berpengaruh terhadap proses deformasi pada saat pengerolan berlangsung. Hal ini terjadi karena tegangan alir pada setiap titik di dalam *slab* menjadi tidak seragam.

Untuk mengetahui pengaruh *holding time (soaking time)* terhadap kehomogenan deformasi maka dilakukan pengukuran ketebalan *slab* yang retak pada setiap jarak 5 mm dalam arah lebar.

Tabel 3 Distribusi ketebalan pada slab hasil *hot rolling* yang mengalami retak.

No	Jarak (mm)	Tebal (mm)	Reduksi (%)
1	0	7	46,2
2	5	7,2	44,6
3	10	7	46,2
4	15	7,3	43,8
5	20	7,3	43,8
6	25	7,3	43,8
7	30	7,35	43,5
8	35	7,25	43,5
9	40	7,35	43,5
10	45	7,3	43,8
11	50	7,1	43,8
12	55	7,35	43,5
13	60	7,25	43,2
14	65	7	44,2
15	70	7	46,2
Rata-rata		7,22	44,44



Gambar 8 Grafik distribusi reduksi pada *slab* hasil *hot rolling* yang mengalami retak.

Dari gambar 8 terlihat bahwa deformasi yang terjadi pada saat pengerolan berlangsung tidak seragam. Hal ini dapat dipengaruhi oleh :

a. *Hold time* yang tidak cukup lama sehingga bagian luar *slab* menjadi lebih panas dan lebih mudah mengalir dari pada bagian dalam. Sebaliknya pada saat menjelang proses pengerolan, bagian permukaan *slab* menjadi lebih dingin. Pada saat pengerolan berlangsung, bagian dalam yang lebih panas berusaha berdeformasi dan berekspansi, tetapi bagian luar yang lebih rendah temperaturnya akan berusaha menahan deformasi tersebut sehingga dapat memungkinkan terjadinya retakan pada *slab*.

b. Celah roll yang tidak sejajar menyebabkan sisi tertentu dari *slab* akan mengalami reduksi ketebalan yang berlebihan. Karena volume dan lebar pelat yang konstan, maka sisi tersebut mengalami perpanjangan ke arah longitudinal melebihi bagian yang lain. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan keretakan pada bagian tepi dan menyebar ke bagian pusat lembaran.

Besarnya tegangan yang bekerja pada arah transversal dan longitudinal dapat dihitung berdasarkan persentase reduksi rata-rata.

- Beban pengerolan P berdasarkan reduksi rata-rata:

$$P = \frac{2}{3} \sigma_p \left[\frac{1}{Q} (e^Q - 1) b \sqrt{R} \Delta h \right]$$

$$\bar{h} = \frac{h_0 + h_f}{2} = \frac{13 + 7,22}{2} = 10,11 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{r}{\bar{h}} = \frac{0,44 \times 17,66}{10,11} = 0,6$$

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 8,83 \left[\frac{1}{0,6} (e^{0,6} - 1) 70 \sqrt{52(13 - 7,22)} \right] = 16954,19 \text{ kg}$$

- Tegangan arah transversal $\sigma_t = \frac{P}{b \cdot \Delta h}$

$$\sigma_t = \frac{16954,19}{70 \times 17,66} = 13,7 \text{ kg/mm}^2$$

- Tegangan arah longitudinal $\sigma_L = \sigma_t (1 + e)$

$$\sigma_L = 13,7(1 + 0,4444) = 19,8 \text{ kg/mm}^2$$

5.2.3 Analisis Formability Material

Parameter yang mempengaruhi *formability* atau kemampuan suatu material untuk menahan penipisan (reduksi) pada proses *hot rolling* adalah laju regangan ($\dot{\epsilon}$) dan sensitivitas laju regangan bahan (m), dimana laju regangan hasil proses harus lebih kecil dari pada harga sensitivitas laju regangan ($\dot{\epsilon} < m$).

Berdasarkan perhitungan hasil proses pengerolan panas yang dilakukan pada material kuningan α (71 CuZn) terlihat bahwa reduksi sebesar 46% (dari $h_0 = 13 \text{ mm}$ ke $h_f = 7 \text{ mm}$) yang dilakukan dalam satu tahap pengerolan (*single passes*) menghasilkan nilai $\dot{\epsilon} = 0,3 \text{ det}^{-1}$ yang lebih besar dari nilai sensitivitas laju regangan $m = 0,157$. Jadi dapat dikatakan bahwa nilai reduksi tersebut (46%) terlalu besar untuk dilakukan dalam satu tahap sehingga cenderung menghasilkan kegagalan berupa retak pada pelat yang di-*hot rolling*.

Untuk mengurangi laju regangan atau mendapatkan $\dot{\epsilon}$ yang lebih kecil dari harga sensitivitas laju regangan m , maka waktu kontak *slab* dengan rol di sepanjang busur kontak harus

diperbesar (diperlambat). Sebagai contoh, asumsikan nilai $\dot{\epsilon} = m = 0,157 \text{ det}^{-1}$

$$\text{maka } \dot{\epsilon} = \frac{\ln\left(\frac{h_0}{h_f}\right)}{t} \rightarrow 0,157 = \frac{\ln\left(\frac{13}{7}\right)}{t} \rightarrow t = 3,94 \text{ detik}$$

Waktu kontak $t = 3,94$ detik menunjukkan keadaan kritis, maka sebaiknya dipilih waktu yang lebih lama, misalnya sebesar 4 detik sehingga dihasilkan laju regangan,

$$\dot{\epsilon} = \frac{\ln\left(\frac{13}{7}\right)}{4} = 0,155 \text{ det}^{-1}$$

Untuk menentukan reduksi yang aman, dilakukan metode perbandingan antara nilai laju regangan dan persentase reduksi *hot rolling* di lapangan dengan harga laju regangan sebesar $0,155 \text{ det}^{-1}$.

$$\dot{\epsilon} = 0,3 \text{ det}^{-1} \text{ , besar reduksi adalah } 46\%$$

$$\dot{\epsilon} = 0,155 \text{ det}^{-1} \text{ , besar reduksi adalah } q.$$

$$\text{Maka } q = \frac{0,155}{0,3} \times 46\% = 24\%$$

Jadi reduksi yang aman dilakukan dalam satu tahap pengerolan panas adalah 24% atau dari ketebalan awal 13 mm menjadi 10 mm. Kondisi ini menyebabkan material yang diproses (kuningan) akan mampu menahan penipisan akibat pengerolan panas karena deformasi yang diberikan tidak terlalu besar sehingga keretakan dapat dihindari.

6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

6.1 Kesimpulan

1. Retakan yang terjadi di sepanjang permukaan pelat kuningan memiliki arah tegak lurus terhadap arah pengerolan. Hal ini terjadi karena deformasi yang diberikan dalam satu tahap terlalu besar sehingga nilai $\dot{\epsilon} (0,3 \text{ det}^{-1})$ lebih besar dari pada $m (0,157)$.
2. Material yang digunakan termasuk kuningan (*admiralty brass*) sesuai dengan DIN 17660.
3. Struktur *columnar, gas porosity, shrinkage porosity*, dan inklusi pada *slab* sebelum diroll panas menunjukkan bahwa material tersebut dihasilkan dari proses pengecoran.

6.2 Rekomendasi

1. Pada saat peleburan sebaiknya dilakukan *degassing* untuk mengurangi gas yang terjebak selama pembekuan.
2. *Soaking time* sebaiknya diperlama untuk menghindari ketidakseragaman deformasi pada saat pengerolan berlangsung.
3. Untuk menghindari terjadinya retak, maka sebaiknya dilakukan reduksi sekitar 24% pada pengerolan satu tahap.

7 Daftar Pustaka

1. Dieter, G.E., "Mechanical Metallurgy". Mc Graw-Hill Book Company (UK), 1988.
2. DR. Ir.Mardjono Siswosuwarno., "Teknik Pembentukan Logam", Diktat Kuliah.
3. Prof. Ir. Tata Surdia MS, Met.F., "Pengetahuan Bahan Teknik".
4. ASME., "Metal Properties ASME Handbook". Mc Graw-Hill Book Company., USA.
5. Kurt Lange., "Hand Book Of Metal Forming". Mc Graw-Hill Book Company., USA. 1976.
6. Kenneth G. Budinski, Michael K. Budinski., "Engineering Materials Properties and Selection". Sixth Edition.
7. Thomsen, EG, et, al., "Mechanics Of Deformation in Metal Processing". Mac Millan Co., New York 1965.

Pemanfaatan limbah Abu batubara untuk Mensubstitusi pada Komposisi Bodi Ubin Keramik Dinding

Ate Romli

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Aehmad Yani
e-mail: ateromli@gmail.com

Abstrak. Limbah abu batubara adalah limbah industri yang merupakan hasil pembakaran dari batubara. Limbah abubatubara ini biasanya memiliki kandungan silika amorf yang tinggi 70 %, terdiri dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan lain-lain, dalam industri keramik komponen SiO_2 ini bisa digunakan sebagai pengsubstitusi kuarsa. fungsinya sebagai kerangka pada body ubin keramik.

Sampel abu batubara yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari *PT. Trisula Tekstile Industries*, sampai saat ini limbah yang dihasilkan sekitar 7200 ton per tahun. Limbah abu batubara

Penelitian ini menggunakan bahan baku berupa lempung Sukabumi, feldspar Pati, kwarsa Bangka, kaolin Belitung dan limbah abu batubara. Pembentukan benda coba dilakukan dengan cara cetak tekan berukuran 7,5 cm x 7,5 cm. Parameter yang diteliti adalah komposisi campuran dan temperatur pembakaran. Campuran yang terdiri dari 20, 25, dan 30% abu batubara, setelah dicetak dan dikeringkan kemudian dibakar pada temperatur 1100 dan 1200°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu batubara dapat digunakan sebagai bahan pengganti kuarsa untuk pembuatan bodi ubin keramik dinding. Hal ini dapat dilihat dari kuat lentur optimum yang diperoleh yaitu 117,8 kgf/cm^2 pada temperatur 1200 °C dan 89,29 kgf/cm^2 pada temperatur 100 °C dengan komposisi abu batubara 25%. Kuat lentur tersebut hampir setara dengan kuat lentur dari contoh yang menggunakan kwarsa yaitu 174,4 kgf/cm^2 pada temperatur 1200 °C dan 55,39 4 kgf/cm^2 pada temperatur 100 °C.

Kata Kunci: *bodi ubin keramik, kuarsa, abu batubara dan kuat lentur optimum*

1 Pendahuluan

Limbah abu batubara merupakan limbah industri yang besar terutama yang dihasilkan dari limbah industri tekstil, dengan jumlah total abu batubara pertahun mencapai 7200 ton. Sampel abu batubara yang digunakan untuk penelitian ini di ambil dari *PT. Trisula Tekstile Industries*, yang ternyata merupakan sumber silika yang cukup tinggi. Silika dalam abu batu bara merupakan silika amorf (tidak berbentuk kristal), yang dalam industri keramik dapat digunakan sebagai bahan kerangka guna memperkokoh bentuk dan dimensi produk. Silika dalam abu batu bara yaitu bentuk silika dengan ukuran butir yang halus, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti kuarsa dalam pembuatan bodi ubin keramik dinding

Batubara apabila dibakar akan menghasilkan energi yang cukup besar, disamping itu akan menghasilkan limbah yang berupa Abu batubara. Abu batu bara di industri dapat mencemari lingkungan dan pada saat ini belum di dimanfaatkan oleh industri keramik, untuk mengatasinya maka limbah abu batu bara tersebut akan di dimanfaatkan untuk pembuatan bodi ubin keramik dinding.

Tujuan penelitian adalah memanfaatkan abu batubara untuk pembuatan komposisi bodi ubin keramik dinding sehingga dapat mengurangi limbah yang dihasilkan dari industri dan tidak mengganggu lingkungan di sekitarnya.

2 Tinjauan Pustaka

A. Definisi dan Pengertian Keramik

Keramik merupakan bahan anorganik bukan logam yang dibakar pada suhu yang tinggi ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$), produknya berupa fasa kristalin, gelas (amorf) atau campuran keduanya.

Keramik itu sendiri berasal dari bahasa Yunani kuno *keramos*, yang berarti tanah liat yang dibakar. Kata *keramos* itupun diturunkan dari asal kata *keram* dalam bahasa *Sanskrit* yang lebih tua, yang berarti proses pembakaran. Pada dekade tahun 1960-an, keramik didefinisikan sebagai seni dan sains dari pembuatan dan penggunaan barang-barang padat yang komponen utamanya sebagian besar tersusun dari bahan-bahan anorganik non-logam, tapi definisi tersebut masih kurang lengkap, karena tidak menggambarkan mikrostruktur dan proses pembuatannya. Keramik, dalam era super-modern sekarang ini didefinisikan sebagai: "Produk seni dan sains, mikrostrukturnya tersusun dari fasa kristalin dengan atau tanpa fasa amorf (gelas) dan terbuat dari bahan anorganik bukan logam melalui proses pembakaran".

B. Bahan Baku untuk Komposisi Ubin

1. Lempung (tanah liat)

Lempung memiliki sifat plastis, yaitu mudah untuk dibentuk tanpa menjadi pecah atau retak. Selain itu, dalam keadaan mentah lempung memiliki daya ikat terhadap bahan lain yang bersifat non-platis. Kedua hal ini merupakan sifat-sifat dasar yang sangat penting dalam pembuatan suatu keramik, yang memungkinkan campuran bahan dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Mineral utama dalam lempung adalah kaolinit, $3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Mineral lempung merupakan hasil pelapukan batuan feldspar, yang mulanya merupakan komponen dari batuan beku, seperti granit.

Granit tersusun dari komponen-komponen mineral mika ($\text{KAl}_3(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$), kwarsa (SiO_2), dan feldspar ($\text{K}_2\text{OAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{14}$) dengan perbandingan yang hampir sama.

Kaolin merupakan salah satu jenis lempung yang banyak digunakan dalam industri keramik. Mineral utama yang terdapat dalam kaolin adalah kaolinit. Pada reaksi pembakaran keramik, yaitu pada temperatur $1100\text{ }^{\circ}\text{C} - 1280\text{ }^{\circ}\text{C}$, terjadi reaksi kalsinasi kaolinit yang dapat diikhtisarkan sebagai berikut:



suatu perubahan dimana ikatan Si-O-Si yang semula berbentuk spiral berubah menjadi lurus. Susunan atom-atom menjadi tidak rapat dan terjadilah pemuaian sebesar ($\pm 0,45\%$), karena koefisien muai termalnya naik secara drastis. Pada pendinginan, saat melewati suhu 573°C terjadi perubahan ikatan Si-O-Si dari keadaan lurus menjadi spiral, yang berarti susunan atom-atom menjadi rapat kembali dan terjadi penyusutan yang besar karena koefisien muai termalnya turun. Struktur kwarsa dibawah 573°C disebut α -kwarsa atau kwarsa bentuk rendah, sedangkan diatas 573°C disebut β -kwarsa atau kwarsa bentuk tinggi, yang akan stabil sampai 870°C .



Gambar 1 Struktur diagramatik α - dan β -kwarsa

5. Feldspar

Feldspar dalam proses pembuatan barang keramik berfungsi sebagai bahan pelebur. Maksud bahan pelebur ini adalah untuk menurunkan titik lebur barang keramik yang dibakar, yaitu pada saat proses pembakaran berlangsung. Setelah mencapai titik leburnya maka feldspar mencair menjadi fasa gelas, dan partikel-partikel lempung direkat satu sama lain sehingga bila fasa gelas tersebut membeku, terbentuk barang keramik yang kuat dan keras.

Feldspar dalam perdagangan (menurut Minerals Yearbook, 1981) apabila kandungan Na₂Onya sebesar 7 % atau lebih maka disebut Soda Feldspar atau Natrium Feldspar, jika kandungan K₂Onya sebesar 10% atau lebih disebut Potash Feldspar atau kalium Feldspar. Yang termasuk jenis Natrium Feldspar antara lain albit (NaAlSi₃O₈), dan yang termasuk Kalium Feldspar antara lain Ortoklas (KAlSi₃O₈).

1. Keramik Ubin Dinding

Perkataan "Tile" dalam bahasa Inggris yang dalam bahasa Indonesia diterjemahkan menjadi ubin arti aslinya adalah "plat penutup" dan definisinya di masing-masing negara berbeda.

Ubin keramik mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan bangunan lain sebab :

- memberi kesan lebih bersih dan higienis
- tidak perlu di cat
- lebih tahan terhadap asam dan basa
- daya tahan abrasi lebih tinggi
- tidak perlu dipoles
- bentuk dan warna dapat disesuaikan dengan permintaan
- mempunyai kuat bengkok yang tinggi

Ubin dinding umumnya mempunyai bahan berpori dan bentuknya bujursangkar, ukurannya dapat bermacam-macam, namun yang umum adalah $7,5 \times 7,5$, 10×10 , 11×11 , 15×15 , dan 20×20 cm.

pembentukannya adalah secara press kering. Kekuatan press dan distribusi tekanan pada press turut menentukan kualitas dari ubin dinding. Selain itu kualitas bahan mentah, komposisi kimia, komposisi mineral, pengeringan, pengglasiran, pembakaran tentu saja mempengaruhi. Bahan baku ubin dinding umumnya adalah : Pyrophyllite, kapur, feldspar, kwarsa dan clay.

sifat kimia, fisis dan panas dari bahan baku ditentukan oleh hal-hal sebagai berikut : komposisi kimia, komposisi mineral, besar butir dan ekspansi panas

3 Metode Penelitian

Percobaan pembuatan bodi ubin keramik dinding dilakukan melalui beberapa tahap yaitu persiapan bahan baku, pencampuran bahan dan penggilingan, penguyakan bahan, penghilangan kadar air, pengeringan, pembentukan benda uji, pembakaran dan pengujian produk, yang meliputi pengujian susut bakar, peresapan air, dan kuat lentur.

1. Variabel yang ditetapkan

- Jenis lempung, limbah abu batubara, komposisi kaolin dan komposisi lempung

2. Variabel yang divariasikan

- komposisi abu batubara, jumlah felspar, temperature bakaran 1100 C dan 1200 C

3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian, dilakukan dengan melakukan tahap-tahap sebagai berikut :

- Penyiapan bahan baku

a. Lempung yang di gunakan pada penelitian ini adalah lempung sukahumi dengan ukuran butir lolos 100 mesh.

b. Kaolin yang digunakan pada penelitian ini adalah kaolin yang berasal dari daerah Bangka Belitung dengan ukuran butir lolos 325 mesh.

c. Abu batubara yang di gunakan pada penelitian ini mempunyai ukuran butir lolos 100 mesh.

d. Feldspar yang di gunakan pada penelitian ini mempunyai ukuran butir lolos 100 mesh.

Tabel 1 Komposisi contoh

Bahan baku	DY ₀ (%)	DY ₁ (%)	DY ₂ (%)	DY ₃ (%)	DY ₄ (%)
Kwarsa	20	-	-	-	10
Abu batu bara	-	20	25	30	-
Feldspar	35	35	30	25	40
Kaolin	40	40	40	40	45
Ball clay	5	5	5	5	5

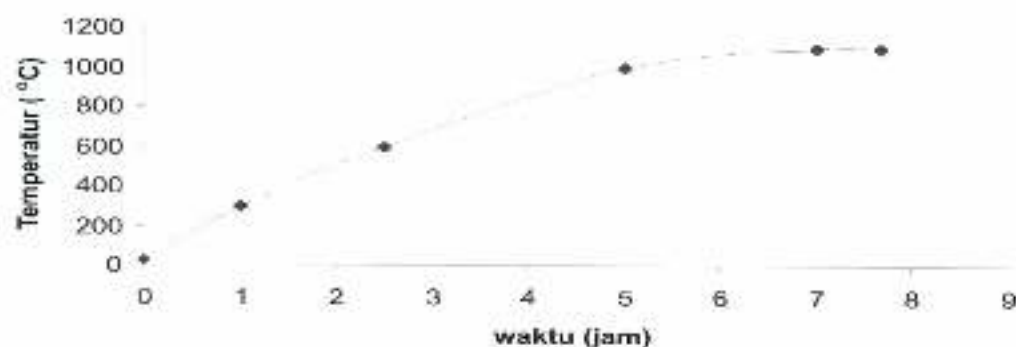
- Pencampuran basah yaitu dengan penambahan air
- Penggilingan

Formulasi yang telah disiapkan kemudian digiling dengan menggunakan Pot Mill agar didapat formulasi dalam bentuk slip. Perbandingan antara bahan baku, air, dan bola-bola giling adalah 1:1:1. Sedangkan waktu giling adalah 8 jam. Setelah penggilingan maka slip dikeluarkan, selanjutnya dikeringkan dengan memakai gips sampai terbentuk massa plastis.

- Pencelakan benda coba.

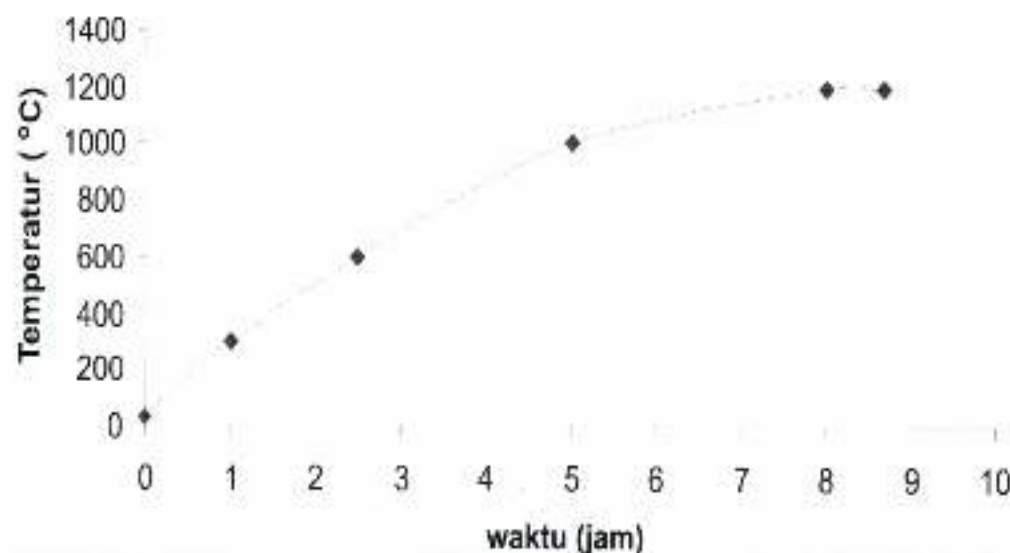
- Pengeringan, dilakukan didalam oven pengering sampai beratnya konstan atau siap untuk dibakar. Untuk proses pengeringan ini harus hati-hati dan dijaga dari keretakan.
- Pembakaran, dilakukan menggunakan tungku pembakaran pada suhu bakar 1100 °C dan 1200 °C.
- Pembakaran benda coba dilakukan dengan menggunakan trayek pembakaran seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.

Grafik trayek pembakaran pada 1100°C

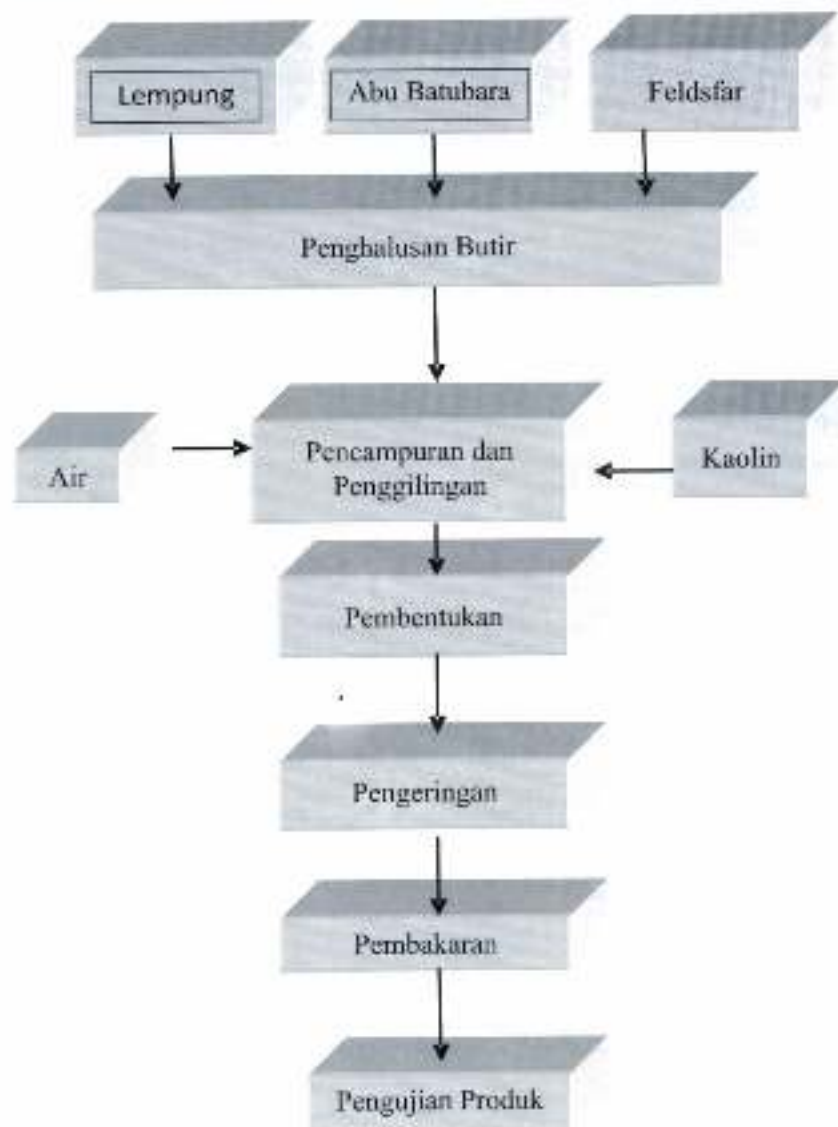


Gambar 2 Trayek pembakaran benda coba

Grafik trayek pembakaran pada 1200°C



Gambar 3 Trayek pembakaran benda coba



Gambar 4 Diagram Proses Pembuatan Ubin Keramik Dinding

4 Hasil dan Pembahasan

Pengujian visual dilakukan untuk mengamati terjadinya retak atau adanya susut pada permukaan benda coba.

Data hasil pengujian visual contoh DY0, DY1, DY2, DY3, dan DY4 pada temperatur 1100 dan 1200°C disajikan pada tabel 4.1. Retak dan melengkung dinyatakan dengan menggunakan kriteria sebagai berikut:

- Tidak ada retak dan tidak melengkung : -, +
- Tidak retak tapi melengkung : +, -

Tabel 2 Hasil pengujian pada suhu 1100 °C

Komposisi	Pengujian			
	Visual	Susut bakar (%)	Peresapan Air (%)	Kuat Lentur (kgf/cm ²)
DY0	+,+	2,17	23,79	69,36
DY1	+,+	5,36	23,96	65,84
DY2	+,+	4,6	24,11	89,29
DY3	+,+	3,85	25	36,25
DY4	+,+	4,11	22,07	55,39

Tabel 3 Hasil pengujian pada suhu 1200 °C

Komposisi	Pengujian			
	Visual	Susut bakar (%)	Peresapan Air (%)	Kuat Lentur (kgf/cm ²)
DY0	+,+	4,94	19,54	197,7
DY1	+,+	7,32	18,67	70,12
DY2	+,+	10,12	13,13	117,8
DY3	+,+	9,02	15,44	87,4
DY4	+,+	5,69	17,27	174,4

Dari hasil pengamatan, terlihat bahwa pada sampel/ contoh DY1, DY2, dan DY3 pada suhu bakaran 1200°C mengalami susut dan melengkung (lihat Tabel 2 & 3). Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada suhu tersebut, bahan pelebur seperti feldspar dan bahan pengotor lainnya sudah melebur seluruhnya dan membentuk fasa cair, sedangkan kristal mullit belum sempurna terbentuk, akibatnya produk keramik yang dihasilkan mengalami susut yang menyebabkan produk menjadi melengkung, selain itu kelengkungan dapat disebabkan oleh adanya silika bebas. Makin besar kadar silika bebas, kemungkinan terjadinya konversi dan inversi dari *polimorf* silika bebas juga semakin besar yang akan menyebabkan terjadinya retak/kerusakan pada produk keramik yang dihasilkan. Silika bebas tersebut dapat terbentuk dari hasil reaksi, ataupun dari bahan baku seperti lempung, kaolin, feldspar dan abu batubara. Reaksinya adalah sebagai berikut :



B. Hasil uji mekanik

Dari tabel 2 & 3, terlihat bahwa semakin banyak substitusi abu batubara, semakin kecil susut bakarnya. Hal ini disebabkan karena semakin banyak substitusi abu batubara jumlah bahan pelebur menjadi berkurang, sehingga fasa gelas yang terbentuk pada saat reaksi

pembakaran menjadi berkurang. Hubungan antara susut bakar dengan temperatur pembakaran dapat dilihat pada hasil penelitian, dengan semakin tinggi temperatur pembakaran susut bakar semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pembakaran, fasa gelas yang terbentuk semakin banyak. Selain itu semakin tinggi temperatur pembakaran, mullit yang terbentuk dari reaksi SiO_2 dan Al_2O_3 semakin besar, sehingga jumlah SiO_2 bebasnya semakin berkurang, dan pengembangan volume semakin kecil, akibatnya susut bakar semakin besar. Temperatur pembakaran yang semakin tinggi dan pembentukan fasa gelas yang semakin banyak, ditunjukkan juga dengan menurunnya peresapan air.

Dari tabel 2 dan 3 terlihat bahwa semakin besar kuat lentur benda contoh peresapan airnya cenderung lebih kecil. Hal ini disebabkan karena fasa gelas yang terbentuk pada saat reaksi pembakaran semakin banyak. Pembentukan fasa gelas tergantung pada jumlah pelebur (K_2O dan Na_2O) yang terdapat pada bahan baku dan temperatur pembakaran. Semakin tinggi temperatur pembakaran reaksi pembentukan mullit dari SiO_2 dan Al_2O_3 akan semakin banyak, sehingga kuat lentur semakin besar dan bodi keramik akan semakin padat. Komposisi yang ditambahkan abu batubara sebanyak 25% dengan temperatur pembakaran 1200°C kuat lenturnya paling besar bila dibandingkan dengan contoh komposisi DY1, dan DY3. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kristal mullit yang terbentuk maksimum pada temperatur 1200°C dengan komposisi abu batubara pada sejumlah 25%.

6 Kesimpulan

1. Abu batubara dapat digunakan sebagai pengganti kwarsa untuk pembuatan bodi ubin keramik dinding
2. Kondisi optimum diperoleh pada penambahan abu batubara sebanyak 25% dengan temperatur pembakaran 1200°C .

7 Daftar Pustaka

1. Slamet Suprpto dan Retno Dumayanti, "Hasil Pengujian Sifat-sifat Abu Batubara Muara Tiga Bukit Asam", Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral 1998.
2. Imas Ifah Somantri dan Imawati, "Pemanfaatan Limbah Abu Terbang untuk Bahan Campuran Beton", Jurusan Teknik Kimia, Universitas Achmad Yani 1999.
3. "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.
4. Amirusdi, "Fly Ash Bottom Ash PITU Batubara Bukan Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)", I.DKI.3700.2002.
5. Soewanto Rahardjo dan Ase Suparman, "Karakterisasi dan Sifat Lempung Ciruas Kabupaten Serang Sebagai Bahan Baku Keramik Hias", Vol.10 No.1.2001.
6. S.Yilmaz, S.Sen, V.Gunay, T.O.Ozkan "Utilisation of Power Plant Fly-Ash as a Building Material", Tile & Brick Int. Volume 13.No 4.1997.
7. Suhanda DKK, "Penelitian Pemanfaatan Abu Batubara Dari Bukit Asam & Umbilin untuk Bahan Bangunan", Informasi teknologi Keramik dan gelas.No.32 tahun VIII,1987.

Perancangan Produk Mesin *Mixer* Plastik Dengan Metode Rasional (studi Kasus Di Stasiun Kerja *Extruder* Pt. Prima Gracindo Velcro)

Zaenal Muttaqien, M. Gunadi

Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani
e-mail : zamu_tuq@yahoo.com

Abstrak. PT. Prima Gracindo Velcro yang bergerak dalam industri lembaran/film kantong plastik selama kurang lebih 2 tahun, berusaha untuk meningkatkan kualitas yang dihasilkan agar mampu bersaing dengan perusahaan pembuat kantong plastik lainnya. Karena konsumen/pengguna akan memutuskan untuk membeli suatu produk dari perusahaan tertentu yang lebih berkualitas dari pada saingannya (Purnomo, 2004).

Saat ini pihak perusahaan mengalami permasalahan dimana banyak terjadi kualitas anfal/cacat lembaran plastik dengan warna yang tidak homogen, hal ini disebabkan karena proses pengadukan dan pencampuran bahan baku secara manual yang saat ini dilakukan menghasilkan campuran bahan yang kurang merata. Kurang meratanya campuran bahan mengakibatkan komposisi bahan dalam campuran menjadi tidak proporsional sehingga pada saat di panaskan dan ditiup di mesin *extruder* menjadi tidak sempurna.

Untuk itu permasalahan utama dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana merancang dan membuat mesin *mixer* plastik yang mampu mengaduk dan mencampur bahan baku agar campuran bahan lebih merata, yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, dan mempunyai kapasitas produksi 200 kg/10 menit. Sehingga kualitas anfal lembaran plastik yang mempunyai warna yang tidak homogen dapat dikurangi/dihilangkan.

Metode yang digunakan adalah metode rasional, dalam tahapan perancangan secara umum. Hasil dari penelitian ini adalah produk mesin *mixer* plastik yang diperoleh dari tahap perancangan, pembuatan dan pengujian. Dari hasil pengujian kapasitas produksi yang di dapat adalah dengan motor 2 Hp, Bahan HD : bahan murni + aditif = + 100 kg dan Bahan PE : bahan murni + aditif = ± 115 kg dengan kualitas campuran bahan yang lebih merata.

Kata kunci : Perancangan produk, Metode rasional, Perancangan parametrik

1 Pendahuluan

Perkembangan dunia industri yang semakin maju membuat setiap perusahaan harus menghadapi persaingan yang ketat dengan perusahaan lainnya. Meningkatnya intensitas persaingan dan jumlah pesaing juga menuntut setiap perusahaan untuk selalu berusaha meningkatkan kualitasnya agar kepuasan dari pelanggan dapat terwujud (Tjiptono dan Diana, 2007).

Untuk itu PT. Prima gracindo velcro yang bergerak dalam industri lembaran/film kantong-

plastik selama kurang lebih 2 tahun, berusaha untuk meningkatkan kualitas yang dihasilkan agar mampu bersaing dengan perusahaan pembuat kantong plastik lainnya. Karena konsumen/pengguna akan memutuskan untuk membeli suatu produk dari perusahaan tertentu yang lebih berkualitas dari pada saingannya (Purnomo, 2004).

Dari hasil pengamatan dan wawancara dengan kepala produksi di perusahaan, kualitas *anfak* yang paling banyak terjadi adalah lembaran plastik yang dihasilkan dari proses pemanasan dan peniupan di mesin *extruder* mempunyai warna yang tidak homogen. Hal ini terjadi karena campuran bahan baku antara bahan murni dan aditif (pewarna dan *recycle*) yang dihasilkan pada aktivitas pencampuran dan pengadukan bahan tidak merata secara keseluruhan. Campuran bahan yang tidak merata mengakibatkan komposisi kandungan bahan dalam campuran menjadi tidak proporsional sehingga pada saat dilakukan proses pemanasan campuran bahan menjadi bentuk cair (*babur*) dan peniupan bahan di mesin *extruder*, lembaran plastik menjadi *anfak*. Kualitas lembaran plastik/produk *anfak* ini akan mengurangi harga produksi dari produk itu sendiri (Purnomo, 2004).

Berdasarkan kondisi diatas, operator di mesin *extruder* meminta kepada perusahaan untuk menyediakan mesin *mixer* plastik yang dapat mencampur bahan secara lebih merata. Untuk itu kepala produksi meminta secara khusus kepada peneliti untuk membantu dalam perancangan mesin *mixer* plastik tersebut, karena manusia/operator akan mampu melaksanakan kegiatannya secara optimal pada sistem kerja tersebut, apabila ditunjang oleh suatu kondisi fasilitas kerja yang baik (Sutalaksana, 1979).

2 Metodologi Penelitian

Agar penelitian berjalan dengan sistematis dan terarah, maka disusun suatu metodologi yang akan menggambarkan secara jelas mengenai tahapan-tahapan yang akan ditempuh dalam perancangan mesin *mixer* ini (mesin pencampur dan pengaduk bahan baku campuran plastik).

Studi pendahuluan

Stasiun kerja kritis yang menjadi objek penelitian dalam penelitian ini adalah stasiun kerja *extruder*. Stasiun kerja *extruder* merupakan proses produksi awal/gerbang awal ditentukannya kualitas baik atau cacatnya lembaran plastik yang akan dihasilkan. Beberapa faktor yang mengakibatkan dihasilkannya kualitas cacat/anfak di stasiun kerja *extruder* adalah



Gambar 1 Identifikasi "Fish Bone" penyebab cacat lembaran plastik di *extruder*
(Sumber : Hasil pengamatan di lapangan)

Perumusan masalah

Berdasarkan gejala masalah yang telah dijelaskan diatas, maka permasalahan utama yang terjadi pada stasiun kerja *extruder* adalah : Bagaimana merancang dan membuat mesin pengaduk dan pencampur bahan baku plastik (*plastics mixer machine*) yang sesuai kebutuhan pengguna dengan kapasitas 200 kg/10 menit, agar diperoleh campuran dan adukan bahan baku yang lebih merata sehingga lembaran plastik yang dihasilkan mempunyai warna yang homogen.

Tujuan penelitian

1. Merancang dan membuat mesin *mixer* plastik yang sesuai dengan kebutuhan dari penggunaannya.
2. Merancang dan membuat mesin *mixer* plastik yang mampu menghasilkan campuran bahan baku plastik secara lebih merata.
3. Merancang dan membuat mesin *mixer* plastik dengan kapasitas produksi 200 kg/10 menit dalam satu kali proses kerja.

Pemilihan metode perancangan

Metode perancangan yang digunakan dalam merancang dan membuat mesin *mixer* plastik di pengembangan konsep adalah metode rasional (*rational methods*) dari *Cross (1994)*, dan tahapan proses perancangan yang digunakan adalah dengan *perancangan secara umum* dari *Samadhi (2000)*. Keunggulan dari metode rasional adalah adanya pendekatan yang sistematis yang meliputi semua aspek proses tahapan perancangan mulai dari tahap pendefinisian kebutuhan dan spesifikasi pengguna, penentuan tujuan perancangan (*clarifying objectives*) sampai dengan perancangan detail (*detail design*) yang siap untuk diimplementasikan. Kedua metode tersebut menerapkan suara pengguna sebagai acuan dalam semua siklus tahapan perancangan produk, sehingga dihasilkan rancangan yang dapat memuaskan kebutuhan dari pengguna. Metode rasional dari *Cross (1994)* disini diterapkan kedalam proses perancangan secara umum dari *Samadhi (2000)* dalam tahapan pengembangan konsep.

Analisis hasil rancangan

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yaitu hasil perancangan dan pembuatan mesin *mixer* plastik, yang kemudian akan dilakukan perbandingan hasil dari perancangan dan pembuatan produk mesin *mixer* berdasarkan dari tujuan perancangannya.

Kesimpulan dan saran

Tahap akhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan atau hasil-hasil yang diperoleh dari langkah-langkah perancangan dan pembuatan mesin *mixer* plastik yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah itu diajukan saran-saran untuk perbaikan penelitian yang selanjutnya.

3 Hasil dan pembahasan

3.1 Tahap pendefinisian kebutuhan dan spesifikasi

Pada tahapan pertama, diawali dengan tinjauan terhadap *state of the art* dari sistem aktual pada saat ini, Pendefinisian kebutuhan dan spesifikasi pengguna menggunakan analisa 5W1H adalah :

What :

Kualitas anfa/cacat lembaran plastik dengan warna yang tidak homogen semakin banyak terjadi.

Why :

Pencampuran bahan baku plastik secara manual dengan menggunakan tenaga manusia menghasilkan campuran bahan yang kurang merata (bahan murni dan aditif tidak tercampur merata). Campuran bahan yang kurang merata mengakibatkan komposisi bahan yang terkandung di dalamnya menjadi tidak proporsional, sehingga proses pemanasan dan peniupan campuran bahan di mesin *extruder* menjadi tidak sempurna.



Gambar 3.1 Pengadukan bahan secara manual
(Sumber : Hasil pengamatan di lapangan)

Who :

Operator di stasiun kerja *extruder*.

Where :

Stasiun kerja *extruder*.

When :

Pada saat operator mesin *extruder* melakukan proses pemanasan dan peniupan campuran bahan baku menjadi lembaran plastik.

How :

Melakukan perancangan mesin pencampur dan pengaduk bahan baku plastik (*plastics mixer machine*) yang dapat mencampur dan mengaduk bahan baku plastik menjadi lebih merata.

3.2 Tahap perancangan konseptual (*conceptual design*)

Pada tahap ini kebutuhan pengguna akan mesin *mixer* di *extruder* akan diidentifikasi, alternatif konsep produk akan dibuat dan dievaluasi sehingga didapatkan satu konsep produk mesin *mixer* plastik atau lebih untuk perancangan lebih lanjut lagi.

a). Mendefinisikan masalah

Berdasarkan tahap pendefinisian kebutuhan dan spesifikasi yang telah dijelaskan diatas, maka permasalahan utama yang terjadi pada stasiun kerja *extruder* adalah : Bagaimana merancang dan membuat mesin pengaduk dan pencampur bahan baku plastik sesuai dengan kebutuhan pengguna.

b). Kumpulkan informasi

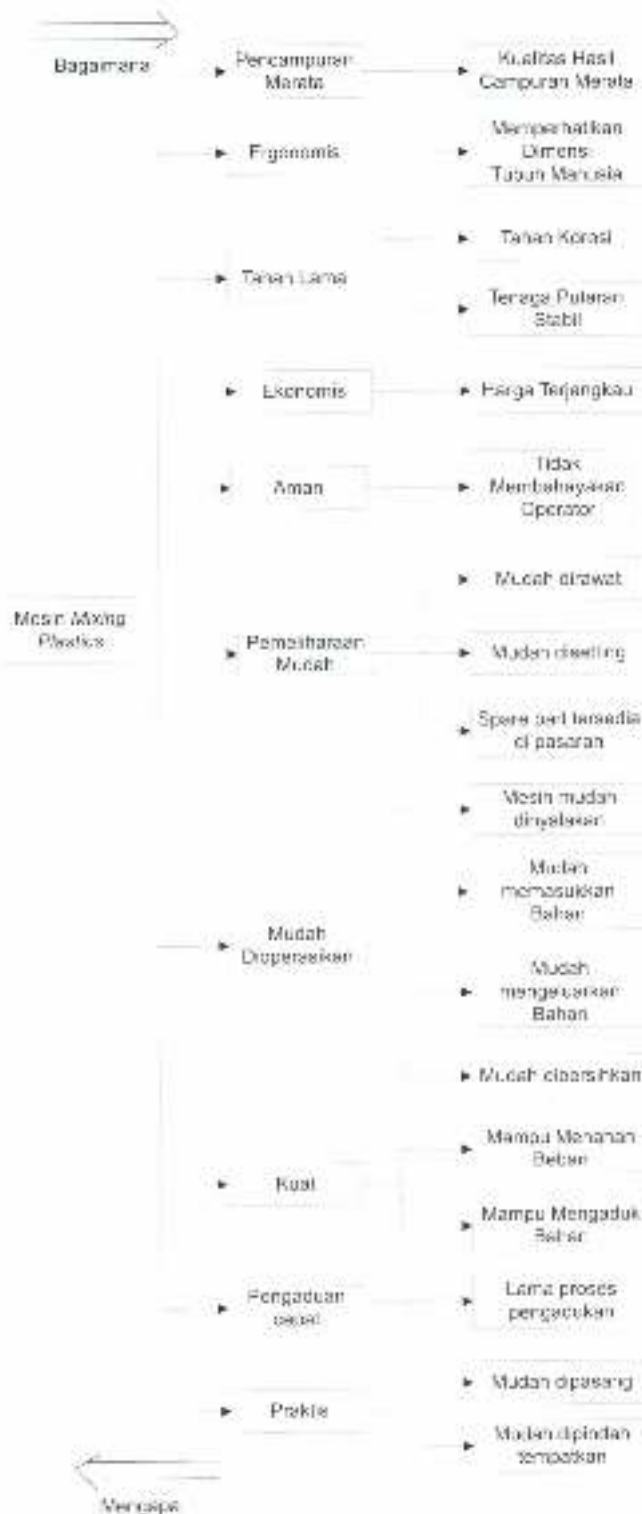
Informasi ini adalah informasi-informasi yang dibutuhkan oleh peneliti untuk mendukung/dasar dalam melakukan proses pengolahan data dalam merancang mesin *mixer* plastik.

c). Kembangkan konsep

Kebutuhan pengguna akan dikembangkan dan dipilih konsep-konsep yang dapat memenuhi dari tujuan utama perancangan yang dibuat, yaitu mesin *mixer* yang dirancang dapat menghasilkan campuran bahan yang merata.

1. Klarifikasi objektif

Metode yang digunakan adalah metode pohon tujuan. Tujuan dari tahap ini adalah menguraikan dan menjelaskan mengenai tujuan dan sub tujuan dari perancangan mesin *mixer*, dan hubungan yang terjadi satu sama lain.



Gambar 3 Pohon tujuan
(Sumber : Hasil pengolahan data)

2. Penetapan fungsi

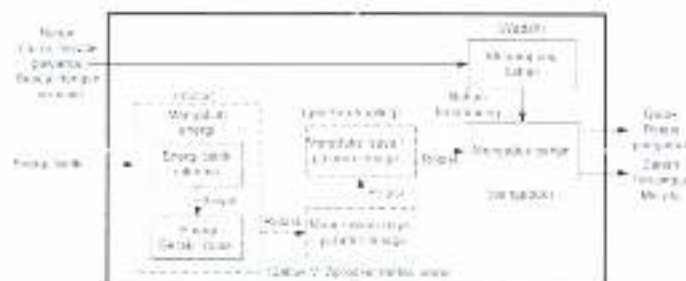
Metode yang digunakan adalah metode analisis fungsi. Tujuannya adalah untuk menetapkan fungsi-fungsi yang diperlukan dan batas-batas penerimaan sistem perancangan produk yang baru.

- o Penetapan fungsi keseluruhan secara global (*Black box*)



Gambar 4 *Black box*
(Sumber : Hasil pengolahan data)

- o Penggambaran *block diagram* yang menunjukkan interaksi sub fungsi secara keseluruhan (*Sistem Transparent Box*)



Gambar 5 *Transparent box*
(Sumber : Hasil pengolahan data)

3. Penetapan spesifikasi produk

Metode yang digunakan adalah spesifikasi *performances*. Tujuannya adalah untuk membuat spesifikasi kinerja yang akurat dari suatu solusi rancangan yang diperlukan.

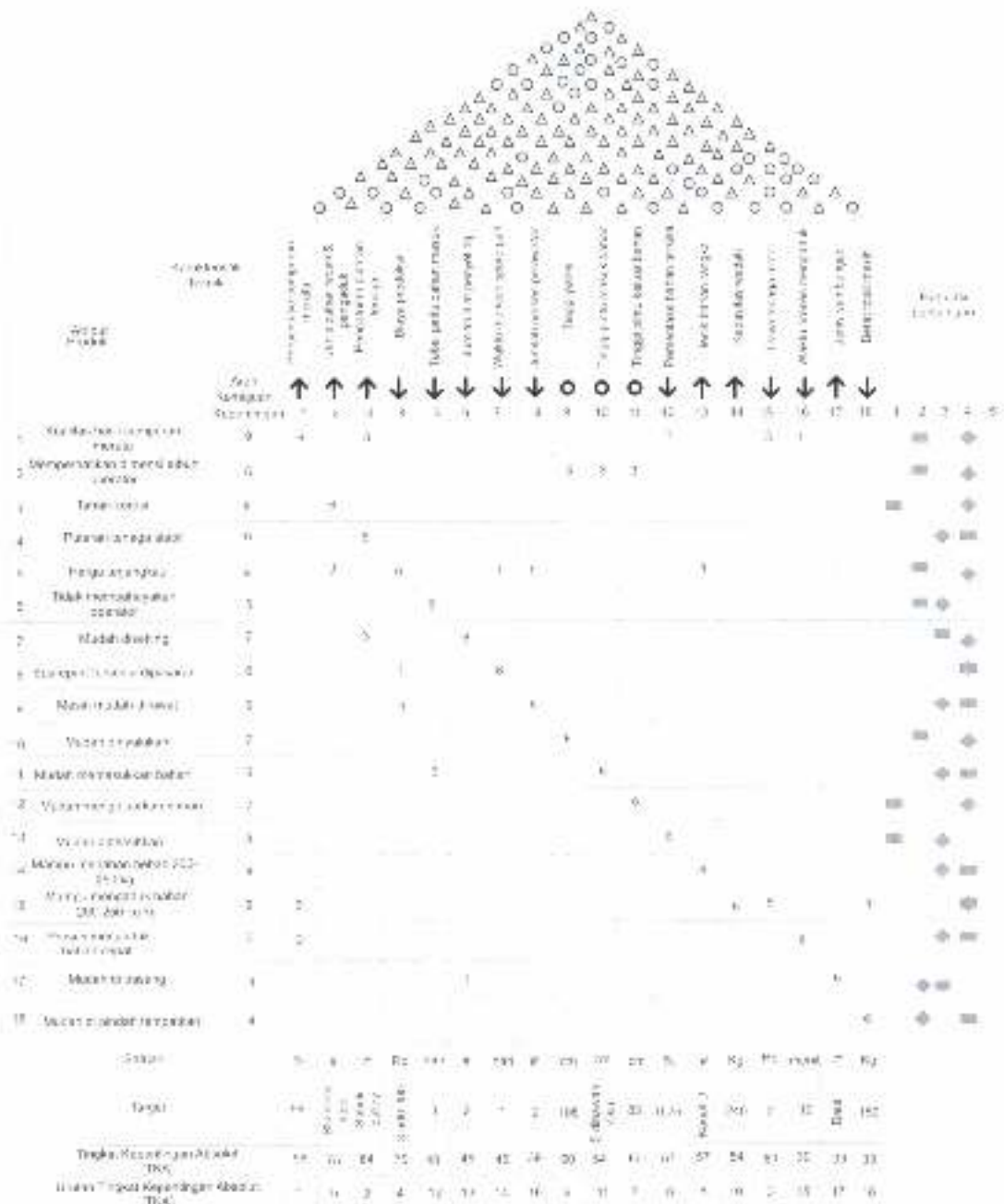
Tabel 2. Atribut produk

No	Atribut performansi	Performance requirements
1	Kualitas hasil campuran merata	Persentase merata 90 - 99 %
2	Memperhatikan dimensi pengguna	<ul style="list-style-type: none"> • Kedalaman panel 100 s.d 110 cm • Ketinggian pingir masuk bahan 5 s.d 15 cm dibawah muka badan di tangga • Ketinggian pingir keluar bahan 80 s.d 90 cm dari lantai
3	Tahan karat	Welding dan pengalok stainless steel
4	Mesin stabil	Keseimbangan putaran tetap
5	Harga terjangkau	Biaya produksi Rp 3.000.000 s.d Rp 4.000.000
6	Tidak menimbulkan operasi	Tebal panel 2 s.d 3 mm
7	Mudah disetup	Dimensi set penyeting 2 s.d 4
8	Sangat portabilitas di pasaran	Waktu mencair 1-2 hari
9	Mudah dimove	Jumlah proses minimal 2 s.d 4
10	Mudah dipelajari	Ketinggian panel 100 s.d 110 cm
11	Mudah memisahkan bahan	Ketinggian pingir masuk bahan 5 s.d 15 cm dibawah muka badan di tangga
12	Mudah mengeluarkan bahan	Ketinggian pingir keluar bahan 80 s.d 90 cm dari lantai
13	Mudah dibersihkan	Persentase bahan yang tersisa 0 s.d 1 %
14	Mampu menahan beban	Mampu menahan beban 150-200 kg
15	Mampu mengaduk bahan	Mampu mengaduk bahan 150-200 kg
16	Lama proses mengaduk	Waktu tidak 10-15 menit
17	Mudah dipajang	Buat standar
18	Mudah dipindah tempat	Berat mesin 100 s.d 200 kg

(Sumber : Hasil pengolahan data)

4. Penetapan karakteristik teknis

Metode yang digunakan adalah QFD. Tujuannya adalah untuk menetapkan target yang akan dicapai oleh karakteristik teknis produk sehingga dapat memuaskan kebutuhan-kebutuhan customer.

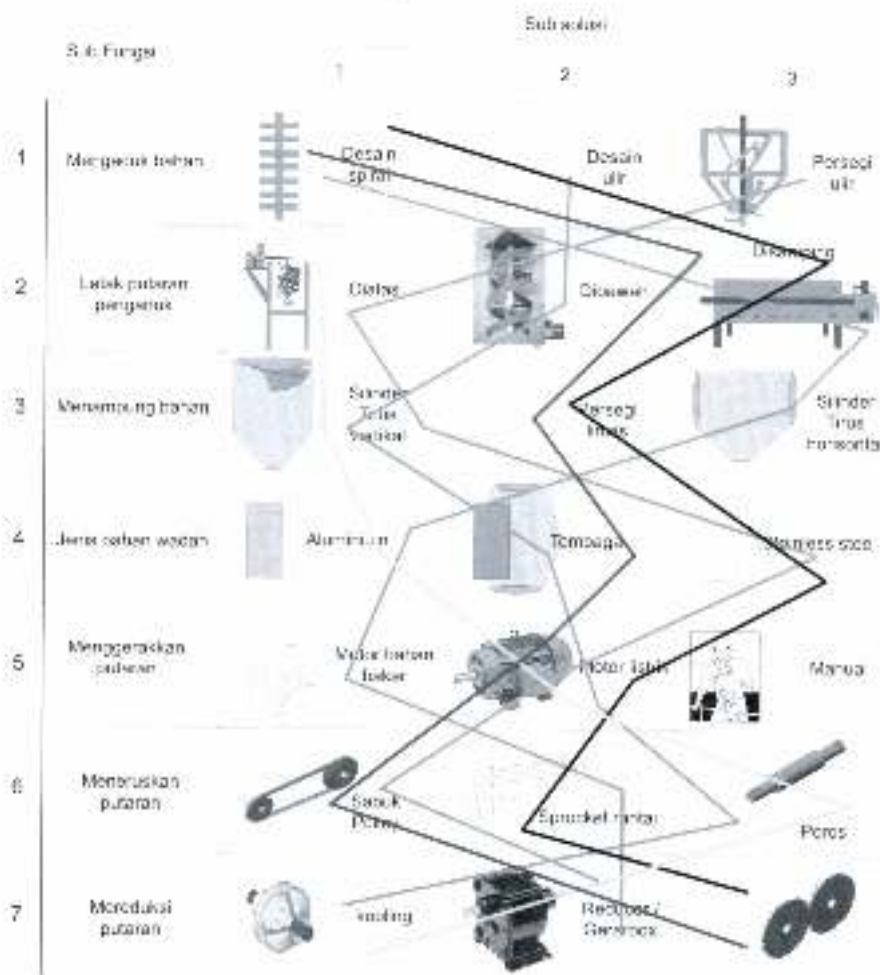


Gambar 6. Matriks rumah kualitas (Sumber : Hasil pengolahan data)

5. Pembangkitan alternatif

Metode yang digunakan adalah peta morfologi. Tujuannya adalah untuk membangkitkan solusi-solusi rancangan alternatif (memperluas pencarian terhadap solusi-solusi baru yang potensial).

Tabel 3. Peta morfologi untuk sub-solusi mesin *mixer*



(Sumber : Hasil pengolahan data)

Untuk itu akan dijelaskan terlebih dahulu spesifikasi, kelebihan dan kekurangan dari tiap-tiap solusi mesin *mixer* plastik yang diperoleh dari tahap kombinasi pada tabel 3.2 diatas :

a. Solusi 1 : ——— : 1.2-2.2-3.1-4.2-5.2-6.3-7.1

Spesifikasi

Tenaga awal digerakkan oleh motor listrik, kemudian tenaga putaran langsung dihubungkan ke poros pengaduk dengan menggunakan kopling tanpa adanya pereduksi putaran, dan poros pengaduk tersebut kemudian berputar sehingga bahan dalam wadah dapat teraduk dan tereimpur.



Gambar 7 Solusi konsep 1
(Sumber : Hasil pengolahan data)

b. Solusi 2: — : 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.2 - 6.3 - 7.1

Spesifikasi

Hampir sama dengan spesifikasi pada tahap 1, yang membedakan hanya letak pengaduk, bentuk pengaduk dan tenaga penggerak yang berada diatas wadah.



Gambar 8 Solusi konsep 2
(Sumber : Hasil pengolahan data)

c. Solusi 3: — : 1.3 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.2 - 6.1 - 7.2

Spesifikasi

Tenaga awal digerakkan oleh motor listrik, kemudian tenaga putaran dihubungkan/diteruskan oleh sabuk dan *pulley* dan direduksi oleh *reducer/gearbox*. poros pengaduk dihubungkan pada *reducer* sehingga dapat berputar dan bahan dalam wadah dapat teraduk dan tercampur.



Gambar 9 Solusi konsep 3
(Sumber : Hasil pengolahan data)

d. Solusi 4: — : 1.1-2.3-3.3-4.1-5.1-6.2-7.2

Spesifikasi

Tenaga awal digerakkan oleh motor bahan bakar, kemudian tenaga putaran dihubungkan / diteruskan oleh sprocket dan rantai direduksi oleh *reducer* / *gearbox*. Poros pengaduk dihubungkan pada *reducer* sehingga dapat berputar dan bahan dalam wadah dapat teraduk dan tercampur.



Gambar 10 Solusi konsep 4
(Sumber : Hasil pengolahan data)

e. Solusi 5: — : 1.1-2.3-3.2-4.3-5.2-6.2-7.3

Spesifikasi

Tenaga awal digerakkan oleh motor listrik, tenaga putaran dihubungkan / diteruskan oleh sprocket dan rantai yang terletak langsung di wadah, sehingga wadah ikut berputar dan bahan teraduk (adanya komponen pengaduk didalam wadah).



Gambar 11 Solusi konsep 5
(Sumber : Hasil pengolahan data)

f. Solusi 6: — : 1.1-2.3-3.2-4.2-5.2-6.1-7.3

Spesifikasi

Tenaga awal digerakkan oleh motor listrik, tenaga putaran dihubungkan / diteruskan oleh sabuk dan pulley, kemudian dihubungkan lagi dengan roda gigi yang terletak langsung di wadah, sehingga wadah ikut berputar dan bahan teraduk.



Gambar 12 Solusi konsep 6
(Sumber : Hasil pengolahan data)

b. Perancangan konfigurasi

Secara garis besar konfigurasi dari rancangan mesin *mixer* yang telah terpilih adalah dengan posisi vertikal (alternatif 3). Dapat diturunkan dari *functional decomposition* seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Komponen mesin *mixer*

No	Fungsi	Nama komponen
1	Menyangga mesin	(rangka utama) : Rangka tiang (dengan pijakan), penyanggah rangka (besar & kecil), penguat wadah, penyanggah wadah, rangka penyanggah motor dan gearbox, dudukan motor
2	Mengasambungkan komponen	Mur, baut, ring
3	Menghasilkan daya putaran	Motor listrik
4	Meneruskan daya putaran antar pulley	Sabuk / belt
5	Meneruskan daya putaran dari penggerak ke pereduksi	Pulley
6	Menguatkan pulley pada poros	pasak
7	Mereduksi daya putaran	Reducer / gearbox
8	Memasukkan bahan	Gravitasi, petutup wadah : engsel, pengait, handle
9	Menampung bahan	Wadah bahan
10	Menyalakan mesin	Panel control
11	Mengaduk bahan	Poros dan pengaduk
12	Menyungga poros berputar	Bearing
13	Mengatkan penyangga poros	Pillow block, penyanggah pillow block, dudukan bearing
14	Mengeluarkan bahan	Gravitasi, (saluran keluar bahan) : rumah saluran keluar, pita saluran keluar, corong saluran keluar

(Sumber : Hasil pengolahan data)

c. Perancangan parametrik

Perancangan parametrik ini melibatkan pencarian nilai untuk variabel, atau parameter, serta karakteristik mesin *mixer* yang dibuat. Hal ini dilakukan agar didapat detail atau rinci seperti ukuran, hingga desain rinci dari bentuk keseluruhan mesin *mixer*.

1. Penggunaan data antropometri

Penggunaan data antropometri ini bertujuan agar operator merasa nyaman dalam melakukan pekerjaannya dengan menggunakan mesin *mixer*.

$$\text{Rata-rata} \quad : \quad \mu = \frac{\sum x_i}{N} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Simpangan baku} \quad : \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N - 1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$P_1 \quad = \quad \mu - 1.645 \sigma \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{50} \quad = \quad \mu \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{98} \quad = \quad \mu + 1.645 \sigma \dots\dots\dots (5)$$

Tabel 6 Dimensi antropometri yang digunakan pada perancangan mesin *mixer* plastik

No	Dimensi	P	Ukuran (cm)	Penerapan pada hasil perancangan
1	Lehar jari	95	7,5 - 2,5 - 10	Digunakan sebagai lebar minimum pegangan pembuka/pemutup wadah dan saluran keluar.
2	Tinggi dada berdiri	5	108	Digunakan sebagai tinggi desain panel.
3	Tinggi pinggang berdiri	50	85	Digunakan sebagai tinggi pembuka/pemutup saluran keluar bahan.
4	Tinggi siku berdiri	5	Tinggi mesin = 203, tinggi siku = 90, toleransi = 5, maka tinggi tangga = 203 - 90 = 113 + 5 = 118 cm	Digunakan sebagai dimensi tinggi tangga untuk pijakan operator, sehingga operator dapat nyaman pada saat menangkang bahan ke mesin <i>mixing</i> .

(Sumber : Hasil pengolahan data)

2. Dimensi produk rinci berdasarkan kapasitas produksi

Seperti telah disebutkan pada kebutuhan konsumen diatas bahwa rata-rata minimum *order* kantong plastik adalah 150 kg. Perusahaan berencana akan membuat mesin *mixer* yang mempunyai kapasitas 200 kg/ 10 menit.

a. Saat ini diketahui bahwa dalam 1 wadah bak pencampuran bahan yang berbentuk persegi panjang $p = 55$ cm, $l = 37$ cm, dan $t = 26$ cm mampu memuat bahan 30,2 kg. Maka volume wadah bahan = $p \times l \times t = 0,55 \times 0,37 \times 0,26 = 0,053$ m³

b. Volume silinder/tabung $\pi r^2 t = 3,14 \times 0,375^2 \times 0,8 = 0,353$ m³

Mampu menampung bahan sebanyak :

$$\frac{\text{volumetabung}}{\text{volumewadah}} \times 30,2 \text{ kg} = \frac{0,353}{0,053} \times 30,2 \text{ kg} = 201,3 \text{ kg}$$

c. Volume kerucut

$$\text{Volume kerucut total} = \frac{1}{3} \pi r^2 t = \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,375^2 \times 0,49 = 0,072 \text{ m}^3$$

Karena ujung kerucut dipotong 6 cm dan lubang diameter keluar bahan 9 cm, maka volume kerucut kecil =

$$\frac{1}{3} \pi r^2 t = \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,045^2 \times 0,06 = 0,000127 \text{ m}^3$$

Maka volume kerucut yang dicari = Volume kerucut total - volume kerucut kecil = 0,072 - 0,000127 = 0,071873 m³

$$= \frac{\text{Volume Kerucut}}{\text{Volume wadah}} \times 30,2 \text{ kg} = \frac{0,071873}{0,053} \times 30,2 = 40,95 \text{ kg}$$

d. Total bahan yang dapat ditampung wadah mesin *mixer*

$$\begin{aligned} &= \text{Daya tampung tabung} + \text{Daya tampung Kerucut} \\ &= 201,3 \text{ kg} + 40,95 \text{ kg} = 242,25 \text{ kg} = 242 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Perhitungan elemen mesin

Perhitungan elemen mesin disini adalah menentukan komponen-komponen yang tepat untuk setiap elemen/komponen mesin yang akan dirancang.

- Motor listrik 2 Hp, 1450 rpm
✓ Diameter as/poros = 24 mm
- Reducer/gearbox* ukuran 60 rasio 1 : 20

- ✓ As/poros putaran input – diameter 15 mm
- ✓ As/poros putaran output – diameter 22 mm
- c. Transmisi sabuk dan puli pada motor dan *reducer* samping :
 - ✓ Puli : motor $a = 11,5$ cm, *reducer* samping $a = 8$ cm
 - ✓ Sabuk : *V belt* A 46, panjang 80 cm
 - ✓ Jumlah sabuk 2
- d. Transmisi sabuk dan puli pada *reducer* atas dan poros :
 - ✓ Puli : *reducer* atas – 14 cm, poros = 16,5 cm
 - ✓ Sabuk : *V belt* B 55, panjang 45 cm
 - ✓ Jumlah sabuk 2
- c. Pasak benam S30C di poros (b x h) – (14 x 9) mm, p = 45 mm
- f. Diameter poros 4,73 cm
- g. *Pillow block* seri 208
- f. Bantalan/*bearing* no. 6008

4. Perancangan detail

Merupakan pembuatan rancangan secara detail mesin *mixer* plastik yang siap diimplementasikan.

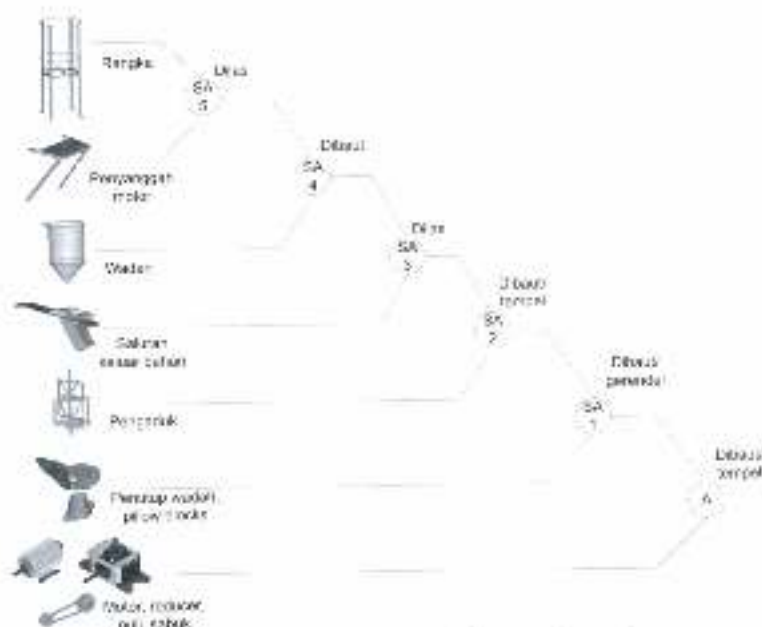
- a. Gambar teknik produk
Gambar teknik komponen secara detail (2D) dan gambar produk (mesin *mixer*) 3D.
- b. Proses pembuatan mesin *mixer*
Proses-proses pengerjaan yang dialami setiap komponen yang harus dibuat/diwujudkan.
- c. Estimasi biaya pembuatan mesin *mixer*
Estimasi biaya ini dilihat dari biaya komponen bahan dan biaya pengerjaan dari mesin *mixer*.
 $\text{Biaya bahan (H)} = \text{berat (kg)} \times \text{harga per kilogram} \dots\dots(6)$
 $\text{Biaya tenaga kerja (Rp)} = \text{Waktu proses (jam)} \times \text{upah tenaga kerja (Rp/jam)} \dots\dots(7)$
 $\text{Biaya total} = \text{Biaya bahan} + \text{biaya pengerjaan} \dots\dots(8)$

Tabel 7 Biaya total pembuatan mesin *mixer*

No	Jenis biaya	Jumlah (Rp)
1	Biaya komponen	Rp 2.545.000
2	Biaya pengerjaan	Rp 1.000.000
Jumlah total		Rp 3.545.000

(Sumber : Hasil pengolahan data)

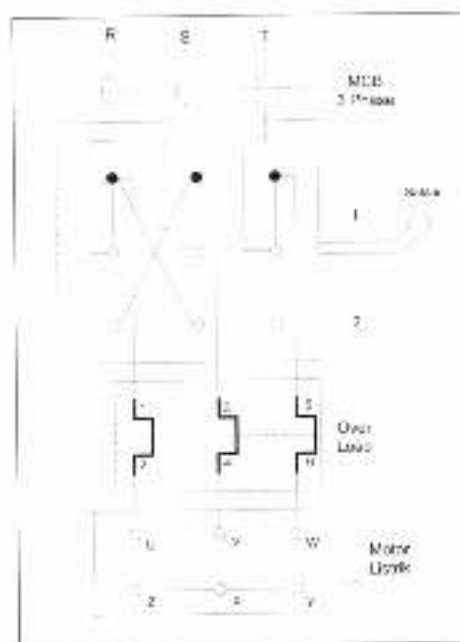
- d. Diagram perakitan mesin *mixer*
Perakitan dimaksudkan untuk menjelaskan bagaimana semua komponen produk di rakit untuk menjadi satu kesatuan produk yaitu mesin *mixer*.



Gambar 14 Diagram peta perakitan mesin mixer
 (Sumber : Hasil pengamatan di lapangan)

e. Diagram kendali listrik mesin mixer

Diagram listrik/kendali dimaksudkan untuk menjelaskan bagaimana semua komponen listrik yang berhubungan satu sama lain yang ada pada produk mesin mixer.



Gambar 15 Diagram rangkaian kendali listrik mesin mixer
 (Sumber : Hasil pengolahan data)

4.) Analisis hasil rancangan

Dari tahap pengolahan data mengenai perancangan mesin *mixer* yang sesuai dengan kebutuhan dari pengguna, didapatkan :

a. Analisis hasil rancangan dibandingkan dengan target karakteristik teknis

Tabel 8 Hasil rancangan berdasarkan target karakteristik teknis

No	Karakteristik teknik	Hasil	Target	Arah Kemajuan
1	Persentase campuran merata	95 %	99 %	↓
2	Jenis bahan wadah	Wadah : <i>stainless</i>	<i>Stainless steel</i>	○
3	Pengaturan putaran tenaga	Sabuk & <i>Pulley</i>	Sabuk & <i>Pulley</i>	○
4	Biaya produksi	Rp 3.545.000,00	Rp 3.500.000,00	↓
5	Tebal bahan pintu masak	3 mm	3 mm	○
6	Jumlah alar penyeting	4 jenis	3 jenis	↓
7	Waktu mencari spare part	1 Hari	1 Hari	○
8	Jumlah proses perawatan	1 Proses	2 Proses	↑
9	Tinggi panel	108 cm	108 cm	○
10	Tinggi penutup bahan	5 cm dibawah siku Berdiri di tangga	5 cm dibawah siku	○
11	Tinggi pintu keluar bahan	85 cm	85 cm	○
12	Persentase bahan tersisa di wadah	0,25 %	0,25 %	○
13	Jenis bahan rangka	Kanal U	Kanal U	○
14	Kapasitas wadah	242 Kg	240 Kg	↑
15	Daya tenaga motor	2 Hp	2 Hp	○
16	Waktu proses mengaduk	+ 10 Menit	+ 10 Menit	○
17	Jenis sambungan	Wadah : <i>haut</i> Rangka : las	<i>Haut</i>	○
18	Berat total mesin	+ 150 Kg	150 Kg	○

(Sumber : Hasil pengujian mesin *mixer*)

b. Analisis manfaat sistem aktual dan usulan

Menjelaskan mengenai perbedaan pengadukan bahan dengan menggunakan mesin *mixer* dibandingkan dengan pengadukan secara manual.

Tabel 9 Analisis perbandingan manfaat sistem aktual dan usulan mesin *mixer*

No	Kriteria	Pengadukan manual	Mesin <i>mixer</i>
1	Hasil campuran	Kurang merata	Lebih merata
2	Kapasitas	Satu kali pencamporan dan pengadukan ± 30 kg	Satu kali penentraman bahan ± 200 kg
3	Waktu	✓ Order 200 kg = $200 / 25 = 8$ kali pencampuran. ✓ 1 kali pencampuran 10 menit. Maka $8 \times 10 = 80$ menit. ✓ 1 kali pencampuran mengaduk bahan 40-50 kali. Maka $50 \times 8 = 400$ kali aduk.	✓ Order 200 kg = $200 / 200 = 1$ kali pencampuran. ✓ 1 kali pencampuran untuk 200 kg dengan waktu ± 10 menit. ✓ Tidak ada pengadukan dengan tangan
4	Tenaga	Memerlukan usaha yang besar.	Tenaga operator dapat dikurangi.

		Cepat merasa lelah saat mengaduk dan merasakan nyeri di tangan. Melakukan pengadukan kembali di <i>hopper</i> mesin <i>extruder</i> , sehingga 2 kali proses kerja pengadukan.	Operator lebih berkonsentrasi pada kualitas rol plastik pada penyetingan ke 6 mesin <i>extruder</i> .
5	Kualitas rol plastik	Banyak terjadi anjal/warna plastik pucat/tidak homogen.	Anjal lembaran plastik dengan warna tidak homogen dapat dikurangi bahkan dihilangkan.
6	Bahan terbuang	Masih ada bahan yang terbuang + 1 kg/hari.	Tidak ada bahan yang terbuang.
7	Pencatatan	Pencatatan bahan untuk pencampuran 200 kg sebanyak 8 kali.	Pencatatan untuk pencampuran 200 kg bahan cukup satu kali.
8	Pengerjaan	Pencampuran dan pengadukan bahan dilakukan pada saat <i>order</i> sedang dikerjakan.	Pencampuran dan pengadukan bahan dilakukan sebelum <i>order</i> dikerjakan.

(Sumber : Hasil pengamatan di lapangan)

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis perancangan dan pembuatan produk mesin *mixer* di stasiun kerja *extruder*, maka didapatkan simpulan sebagai berikut :

- Hasil dari identifikasi kebutuhan pengguna akan mesin *mixer* plastik yang dirancang dan dibuat adalah :Pencampuran bahan merata, Pengadukan cepat, Ergonomis, Tahan lama, Ekonomis, Aman, Pemeliharaan mudah, Mudah dioperasikan, Kuat, Praktis.
- Kapasitas maksimum wadah mesin *mixer* adalah 242 kg.
- Waktu pengadukan campuran merata adalah ± 10 menit, bahkan bisa kurang dari 10 menit jika campuran bahan yang diaduk dibawah 200 kg.
- Kapasitas daya pengadukan dan pencampuran mesin *mixer* plastik dalam satu kali proses adalah :
 - Motor 2 Hp, Bahan HD : bahan murni + aditif = ± 100 kg
 - Motor 2 Hp, Bahan PE : bahan murni + aditif = ± 115 kg
 - Motor 3 Hp, Bahan HD : bahan murni + aditif = ± 160 kg
 - Motor 3 Hp, Bahan PE : bahan murni + aditif = ± 200 kg
- Hasil perhitungan elemen mesin untuk mencapai daya aduk 200 kg campuran bahan adalah dengan dinamo motor listrik 4 Hp.

6.) Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis perancangan dan pembuatan produk mesin *mixer* di stasiun kerja *extruder*, maka didapatkan simpulan sebagai berikut :

- Penggunaan dinamo motor listrik mesin *mixer* sebaiknya 4 Hp agar kapasitas daya aduk 200 kg campuran bahan dapat tercapai .
- Penggunaan dinamo motor yang lebih besar 3 atau 4 Hp harus di imbangi dengan ukuran *reducer* yang lebih besar juga.
- Perawatan penggantian pelumas pada *reducer* harus dilakukan secara berkala.

6 Daftar pustaka

1. Adrian, Rian. *Industri Tapioka Menggunakan Mechanical Design Process Terintegrasi*, Skripsi Teknik Mesin Itenas, Bandung, 2006.
2. Arnstead, Ostwald, Begeman, Djaprie, *Teknologi Mekanik*, Erlangga, Jakarta, 1991.
3. Arisandi, Adhie, *Rencana Peningkatan Kualitas Proses Produksi Tali Plastik Dengan Six Sigma*. Skripsi STI Musi, Palembang, 2004.
4. Astuti, Budi, *Handout Matakuliah Ergonomi*, Unjani, Bandung, 2001.
5. Chaffin, Don B., Andersson, Gunnar B.J., *Occupational Biomechanics 2nd edition*, John Willey and Sons, Inc., New York, 1991.
6. Cross, Nigel, *Engineering Design Methods - Strategies for Product Design*. John Wiley and Sons (SEA), England, 1994.
7. DEPDIKBUD, Direktorat Perguruan Tinggi Swasta, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, *Draft Buku Perencanaan dan Perancangan Produk*, Bogor, 1997.
8. Groover, Mikell P., *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, Second edition*, Prentice hall, New jersey, 2001.
9. Handriyani, Harlina, *Usulan perancangan alat pengering briket batu bara*, Skripsi Teknik Industri Unjani, Bandung 2006.
10. Hery, Sonawan, *Modul Elemen Mesin*, Teknik Mesin Unpas Bandung, 2003.
11. Meriam, J. L., Kraige, L. G., *Mekanika Teknik Statika*, Erlangga, Jakarta, 1988.
12. Nurmianto, Eko, *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*, edisi kedua, Penerbit Guna Widya, Surabaya, 2004
13. Panero, Julius, AIA, ASID, *Dimensi Manusia dan Ruang Interior*, Erlangga, 2003.
14. Pulat., Babur Mustafa., David C Alexander., *Industrial Ergonomics*, Mc Graw - Hill, Inc India, 1982.
15. Purnomo, Hari, *Pengantar Teknik Industri*, Jilid Kedua, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.
16. Samadhi, Ari, *Handout Matakuliah Metodologi Penelitian Tugas Akhir*, Unjani, Bandung, 2001.
17. Setiawan, Angga, *Perancangan Ulang Stasiun Kerja Bending*, Skripsi Teknik Industri Unjani, Bandung, 2007.
18. Sularso, Kiyokatsu Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Penerbit PT, Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
19. Sutalaksana, Iftikar, Anggawisastra, Tjakraatmaja, *Teknik Tata Cara Kerja*, Jurusan Teknik Industri ITB, Bandung, 1979.
20. Tjiptono, Diana, *Total Quality Management*, Edisi revisi, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2007.
21. Ulrich Karl T., Eppinger Steven D., *Perancangan dan Pengembangan Produk, 4th edition*, McGraw-Hill Inc, New York, Penerbit Salemba Teknika, 2001.

JURNAL TEKNIK PETUNJUK UNTUK PENULIS

Umum. Jurnal Teknik menerima artikel yang orisinal dari berbagai penelitian yang berhubungan dengan ilmu teknik metalurgi dan material, teknik kimia, teknik mesin, teknik industri, teknik sipil, teknik elektro dan teknologi informasi.

Artikel yang diterima hanya yang belum dipublikasikan. Penggunaan ilustrasi atau table yang telah dipublikasikan, merupakan tanggung jawab penulis untuk perizinan dari penerbit. Artikel dapat dikirimkan kepada redaksi:

**Drs. Danang K.
Fakultas Teknik Bandung
Jl. Gatot Subroto (Samping PT. PINDAD)
Bandung 40280**

Tiga eksemplar artikel tercetak dikirim ke redaksi Jurnal teknik yang diketik pada satu sisi halaman kertas A₄ (21,0 cm x 29,7 cm).

Format penulisan artikel mengikuti aturan sebagai berikut:

Batas kiri = 4 cm, batas atas = 4 cm, dengan batas tinggi pengetikan 19 cm dan batas lebar pengetikan 12,5 cm.

Ukuran huruf untuk judul 14 pt (tebal), ukuran huruf penulis 10 pt (tebal) ukuran huruf untuk alamat institusi 10 pt.

Ukuran huruf untuk abstrak dan kata kunci 10 pt, ukuran huruf untuk sub dan isi teks 11 pt

Tipe huruf dari Microsoft word – Times New Roman

Judul dan penulis diketik dengan bentuk sebagai berikut:

Analisa Kerusakan pada Turbin *Bucket* yang terbuat dari Material *Nickel Based Alloy MAR-M-246*

Leni Juwita¹ & Mabe Siahaan²

¹Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani
LAPAN - Bandung

Panjang maksimum artikel 10 halaman termasuk gambar dan table. Gambar dibuat dalam warna hitam putih dengan kualitas yang bagus.

Abstrak dari tulisan dibuat dalam bentuk bahasa Indonesia. Panjang maksimum dari abstrak adalah 200 kata. Kata kunci (5 – 10 kata) yang mengikuti abstrak ditulis berdasarkan urutan huruf

Daftar Pustaka di tulis dalam artikel mengikuti contoh dibawah ini:

Jurnal

1. Irawan N.M., *Judul tulisan*, Nama Jurnal 2, 10-24(1996)

Buku

2. Irawan, N. M., & Hendra I., *Judul buku*, ed. 3, Penerbit (2000)

Website

3. Nama penulis (jika ada), *Judul ndisai* (jika ada), Organisasi, alamat website, (2 Juni 1999)

Penulis yang artikelnya dimuat mendapat 2 cetak lepas, 1 eksemplar Jurnal Teknik