

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN PUTAR SPINDEL DAN SUDUT POTONG UTAMA TERHADAP UMUR PAHAT PADA PROSES PEMBUBUTAN BAJA St-41

Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T¹, Ir. Gatot Santoso, M.T², Wawan³
Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung
Jln. Sumatera No. 41 – Bandung (40117)

ABSTRAK

Umur pahat merupakan suatu data pemesinan yang sangat penting dalam perancangan proses produksi pemesinan. Dalam penelitian ini, dilakukan proses pembubutan baja St-41 untuk menentukan umur pahat HSS. Rancangan percobaan memvariasikan tiga variabel bebas yaitu, kecepatan putar spindle 280 rpm dan 360 rpm, sudut potong utama pada pengujian tahap pertama 70° dan 90°, pada pengujian tahap kedua 50° dan 60°, sedangkan merk pahat yaitu HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 dan HSS ASSAB 17 Sweden.

Berdasarkan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar spindle dan sudut potong utama berpengaruh terhadap umur pahat. Merk pahat HSS ASSAB 17 Sweden memiliki umur lebih unggul 5,72 menit, dibandingkan merk pahat HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200. Hasil pengujian diperoleh persamaan umur pahat Taylor, untuk pahat HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 yaitu $VT^{0,474} = 37,6$ dan untuk pahat HSS ASSAB 17 Sweden yaitu $VT^{0,226} = 32$.

Umur pahat terbesar berada pada range kecepatan putar spindle 285 rpm, dan sudut potong utama 50°, dengan nilai umur pahat sebesar 160 menit. Umur pahat optimum tidak dapat ditemukan, karena semakin kecil sudut potong utama dan semakin rendah kecepatan putar spindle, maka umur pahat semakin besar.

Kata kunci: Pahat HSS, proses pembubutan, keausan pahat, umur pahat.

ABSTRACT

Chisel is a machining data that is very important in designing machining production processes. In this study, the St-41 steel turning process was carried out to determine the age of the HSS tool. The experimental design varied three independent variables, namely, the spindle rotational speed of 280 rpm and 360 rpm, the main cutting angle at the first stage testing 70° and 90°, the second stage testing 50° dan 60°, while the tool brand was HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 and HSS ASSAB 17 Sweden

Based on the results of testing, it can be concluded that the spindle rotational speed and main cutting angle affect the tool age. The HSS ASSAB 17 Sweden brand has a superior age of 5.72 minutes, compared to the HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 brand. The test results obtained by Taylor's tool age equation, for HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 tools namely $VT^{0,474} = 37,6$ and for HSS ASSAB 17 Sweden tool, namely $VT^{0,226} = 32$.

The largest tool life is in the spindle rotational speed range of 285 rpm, and the main cutting angle is 50°, with a tool life value of 160 minutes. The optimum tool life cannot be found, because the smaller the main cutting angle and the lower spindle rotational speed, the greater the tool life.

Keywords: HSS tool, turning process, tool wear, tool life.

1. PENDAHULUAN

Panas yang terjadi akibat gesekan antara pahat dan benda kerja pada suatu proses pembubutan menyebabkan keausan pada bidang aktif pahat, memperpendek umur (*life time*) pahat, kekasaran permukaan benda kerja, kualitas produk tidak sesuai standar.^(8,10)

Keausan pahat adalah sebuah fenomena yang sering terjadi dalam proses pemesinan (*Machining*).⁽²⁶⁾

Batas keausan (*tool life*) diperoleh dari pengujian pemesinan dan ditentukan oleh beberapa parameter, yaitu :

proses pemesinan, jenis benda kerja dan geometri pahat, kondisi pemotongan serta cairan pendingin.⁽¹⁾ Data mengenai umur pahat, benda kerja dan kondisi pemotongan tertentu diperlukan untuk membuat rencana proses pemesinan produk⁽⁷⁾. Analisis umur pahat akan dilakukan pada dua jenis merk pahat HSS yang umum dipakai oleh industri kecil, bengkel-bengkel praktek siswa, dan diuji pada proses pemesinan bubut konvensional⁽¹⁶⁾.

Perumusan masalah pada penelitian ini yaitu apakah kecepatan putar spindle, sudut potong utama dan merk pahat dengan unsur paduan yang berbeda mempengaruhi umur pahat. Parameter mana saja yang paling berpengaruh terhadap umur pahat.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur keausan tepi dan umur pahat HSS yang digunakan dalam membubut baja St-41, membandingkan umur pahat HSS dari dua merk berbeda, dan menyusun korelasi antara kecepatan putar *spindle* dan sudut potong utama dengan umur pahat.

Sebagai batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu pahat yang digunakan jenis pahat HSS Bohler MO Rapid Exstra 1200 dan ASSAB 17 Sweden, benda kerja yang dibubut dibuat dari baja St-41, proses pengerjaan adalah pembubutan rata sepanjang 180 mm, diameter 25,4 mm (1"), mesin yang digunakan mesin bubut konvensional. Alat ukur yang digunakan stop watch, mirometer, dan mistar baja, sedangkan microscope dan kamera digital digunakan untuk melihat fenomena keausan, dan pengambilan gambar keausan.

Parameter pemotongan adalah variasi kecepatan putar *spindle* (n) = 280 rpm dan 380 rpm, sudut potong utama (κ_r) = 50°, 60°, 70° dan 90°, sedangkan kedalaman potong (a) = 1 mm dan gerak makan (f) = 0,231 dibuat konstan.

Manfaat hasil penelitian digunakan untuk mengetahui perbedaan umur pahat dari dua merk berbeda pada kondisi pemotongan tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai dasar rencana proses pembubutan produk yang terbuat dari baja St-41.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Karakteristik dan Terminologi Proses Bubut

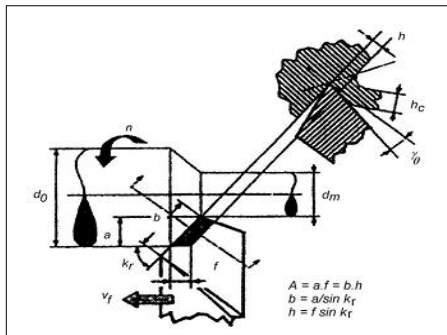
Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin (komponen) berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut. Adapun prinsip kerja mesin bubut adalah:

1. Benda kerja yang berputar menggunakan pahat bermata potong tunggal (*single-point cutting tool*).
2. Gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu, sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja.
3. Proses bubut permukaan (*surface turning*) adalah proses bubut yang identik dengan proses bubut rata, tetapi arah gerakan pemakanan tegak lurus terhadap sumbu benda kerja.⁽³⁾
4. Proses bubut tirus (*taper turning*) adalah proses bubut yang identik dengan proses bubut rata, hanya jalannya pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja.

Lima elemen dasar pada proses pemesinan bubut⁽¹⁾, yaitu:

- a. Kecepatan potong (*cutting speed*)
; V (m/min)
- b. Kecepatan makan (*feeding speed*)
; V_f (mm/min)
- c. Kedalaman potong (*depth of cut*)
; a (mm)
- d. Waktu pemotongan (*cutting time*)
; T_m (min)
- e. Kecepatan penghasilan geram (*rate of metal removal*)
; Z (cm³/min)

Elemen dasar pada proses bubut (*turning*) dapat diketahui atau dihitung menggunakan rumus yang dapat diturunkan berdasarkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses bubut⁽¹⁾

Geometri benda kerja : d_o = diameter awal (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemesinan

Geometri pahat : κ_r = sudut potong utama
($^\circ$)

γ_o = sudut geram ($^\circ$)

Kondisi pemesinan: a = kedalaman pemakanan
(mm)

f = pemakanan
(mm/putaran)

n = putaran poros utama
(rpm)

V = kecepatan potong
(m/min)

Dengan diketahuinya besaran-besaran di atas sehingga kondisi pemotongan dapat diperoleh sebagai berikut:

1. Kecepatan potong (*cutting speed*)

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m / min)}$$

2. Kecepatan pemakanan

$$V_f = f \cdot N \text{ (mm / min)}$$

3. Kedalaman potong (*depth of cut*)

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \text{ (mm)}$$

1. Waktu pemotongan

$$T_m = \frac{l_t}{V_f} \text{ (min)}$$

2. Laju pembuangan geram

$$MRR = A \cdot V = V \cdot f \cdot a \text{ (cm}^3 \text{ / min)}$$

$$A = f \cdot a \text{ (cm}^2\text{)}$$

2.2. Kusakan dan Tipe Keausan Pahat

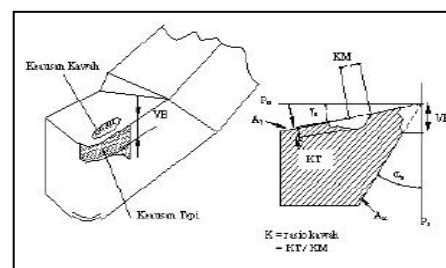
Dalam praktek, umur pahat tidak hanya dipengaruhi oleh geometri pahat saja, melainkan juga oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses pemesinan, yaitu antara lain jenis material pahat dan benda kerja (*specimen*), kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan), cairan pendingin dan jenis proses pemesinan.^(1,10) Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab, diantaranya:

1. Keausan yang secara bertahap membesar pada bidang aktif pahat.
2. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat.
3. Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk/geometri pahat.

Keausan dapat terjadi pada bidang geram ($A\gamma$) atau pada bidang utama pahat ($A\alpha$). Aus pada pahat dapat dikarakterisasikan pada beberapa jenis, yaitu:^(10,14)

1. Aus Tepi (*Flank Wear*)

Keausan yang terjadi pada bidang utama/mayor. Keausan tepi dapat diukur menggunakan micrometer atau mikroskop, Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Keausan tepi (*flank wear*) dan keausan kawah (*crater wear*)^(1,5,10,13,14)

2. Aus Kawah (*Crater Wear*)

Keausan terjadi pada bidang utama dan geram, (Gambar 2.2). Berdasarkan bentuk dan posisi yang spesifik, keausan pada bidang geram (*crater wear*) diukur dengan menggunakan alat ukur kekerasan permukaan (*roughness test*).

2.3. Mekanisme Keausan dan Kerusakan Pahat

Berdasarkan hasil penelitian keausan dan kerusakan pahat merupakan faktor yang dominan atau gabungan dari beberapa faktor yang tertentu. Faktor-faktor penyebab tersebut, yaitu:

1. Proses Abrasif
2. Proses Kimiawi
3. Proses Adhesi
4. Proses Difusi
5. Proses Oksidasi

2.4. Umur Pahat dan Kriteria Umur Pahat

Umur pahat didefinisikan sebagai lama waktu yang diperlukan untuk mencapai batas keausan yang ditetapkan. Saat proses permesinan berlangsung bahwa pahat telah mencapai batas keausan yang telah ditetapkan (umurnya) dari kriteria⁽⁸⁾.

1. Kenaikan gaya potong
2. Terjadinya getaran/chater
3. Penurunan kehalusan permukaan hasil pemesinan (permukaan kasar)
4. Perubahan dimensi produksi/geometri pahat

Harga batas keausan yang digunakan sebagai petunjuk dari percobaan, dimana harganya tergantung dari jenis pahat dan benda kerja, seperti pada Tabel 2.1. (1, 8, 15)

Tabel 2.1 Contoh batas keausan kritis

Jenis pahat	Jenis benda kerja	V_B^* (mm)	K^{**}
HSS	Baja dan besi tuang	0,3 s/d 0,8	-
Karbida	Baja	0,3 s/d 0,8	0,3
Karbida	Besi tuang dan non ferrous	$\leq 0,3$ s/d 0,8	0,3
Karbida	Baja dan besi tuang	0,3 s/d 0,8	-

Dimana:

$$V_B^* = \text{harga keausan tepi (flank wear)}$$

$$K^{**} = \text{rasio kawah (crater ratio, } K_T/K_M)$$

Persamaan umur pahat pertama kali dikemukakan oleh F. W Taylor pada tahun 1907, dan sering disebut dengan *Taylor's tool life equation*.

Persamaan hubungan empiris antara kecepatan potong dan umur pahat, untuk pahat HSS sebagai berikut:

$$V.T^n = C_T$$

ditransformasi menjadi

$$\text{Log}V = \log C_T - n \log T$$

dimana:

T = umur pakai pahat (min)

V = kecepatan potong (m/min)

n = harga eksponen ditentukan dengan eksperimen

Nilai konstanta C_T , ditentukan secara ekstrapolasi pada harga umur pahat (T_c) = 1 menit.

Untuk nilai n dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$n = \frac{\Delta \log V}{\Delta \log T}$$

$$n = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_2 - \log T_1}$$

2.5. Teori Statistik

2.5.1. Metode Faktorial

Metode faktorial adalah salah satu metode yang banyak digunakan dalam penelitian teknik. Dengan metode ini data yang diperoleh adalah hasil investigasi terhadap kombinasi berbagai faktor terlibat. Jumlah dan level faktor yang diamati adalah dua hal penting yang sangat menentukan terhadap perencanaan pengumpulan data,

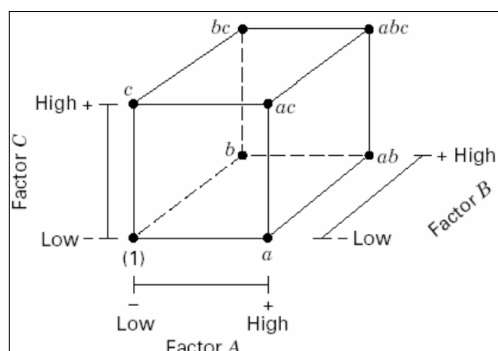
kedua hal tersebut pada metode faktorial biasanya dituliskan dalam bentuk bilangan berpangkat, dimana bilangan melambangkan jumlah level, dan pangkat melambangkan jumlah faktor.^(16, 23)

Bila ada tiga faktor yang akan diamati pengaruhnya terhadap suatu respon, dari masing-masing faktor diambil dua level, maka metode faktorial dinamakan 2³ faktorial, sehingga akan didapatkan delapan kombinasi faktor yang mempengaruhi respon.^(16, 23)

Ada tiga metode untuk melambangkan level dari faktor pada metode 2³ faktorial yaitu: “+” atau “1” untuk melambangkan level tinggi, “-” atau “0” untuk melambangkan level rendah, atau menggunakan huruf kecil dari masing-masing faktor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.3.

Tabel 2.2 Disain matrik 2³ faktorial

No	A	B	C	Label	A	B	C
1	-	-	-	(1)	0	0	0
2	+	-	-	a	1	0	0
3	-	+	-	b	0	1	0
4	+	+	-	ab	1	1	0
5	-	-	+	c	0	0	1
6	+	-	+	ac	1	0	1
7	-	+	+	bc	0	1	1
8	+	+	+	abc	1	1	1



Gambar 2.3 Geometri 2³ Faktorial^(16, 23)

2.5.2 Algoritma Yates

Algoritma Yates merupakan salah satu teknik untuk menentukan estimasi efek dan jumlah kuadrat pada rancangan faktorial. Kombinasi perlakuan ditulis dibawah dalam urutan standar (*Standar Order*), masing-masing taraf dikombinasikan secara berurutan setiap himpunan dari taraf faktor.⁽¹⁶⁾

Dalam desain faktorial 2³ acak sempurna, eksperimen telah dilakukan replikasi sebanyak r kali dalam tiap sel. Dengan jalan mengambil jumlah respon hasil refleksi dalam tiap sel, maka masing-masing harga untuk tiap kombinasi perlakuan dapat ditentukan.

2.5.3 Response Surface Methodology (RSM)

Response Surface Methodology (RSM) merupakan kumpulan teknik matematik dan statistik yang digunakan untuk modeling dan analisis permasalahan pada respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel, bertujuan memperoleh optimasi respon.

Pada penelitian ini rancangan percobaan menggunakan kecocokan model CCD dengan tiga faktor, masing-masing faktor terdiri dari dua level, dan enam titik pusat, percobaan dilakukan dengan satu kali pengulangan.

Perhitungan optimasi pengaruh kecepatan putar spindle (n), dan sudut potong utama (κ_r) terhadap umur pahat (T_c) menggunakan RSM dengan kecocokan model CCD. Persamaan RSM orde dua yaitu.⁽²³⁾

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

Dimana Y adalah respon umur pemakaian pahat (T_c). β₀ adalah konstanta. β_i, β_{ii}, β_{ij} adalah koefisien dari faktor atau variabel bebas X dengan tanpa kode.

2.5.4 Regresi Berganda

Regresi adalah bentuk hubungan fungsional antara variabel respon dan prediktor. Guna regresi adalah untuk memprediksi. Bila sebuah variabel terikat (*dependent variabel*) atau respon y tergantung atau dipengaruhi oleh k variabel bebas misal: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, maka hubungan antara variabel ini disebut regresi berganda (multi linier regression), secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Persamaan diatas dalam bentuk persamaan matrik:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}$$

Model persamaan *fitted regression* adalah:

$$y = Xb$$

2.5.4 Analisis Varians (Anova)

Analisa varians (anova) adalah metoda yang digunakan untuk membuktikan kebenaran pengaruh dari setiap variabel terhadap respon apakah masing-masing perlakuan memberikan pengaruh atau tidak terhadap respon, keputusan untuk menolak atau menerima hipotesa H_0 diambil dengan jalan membandingkan nilai rasio F_o yang diperoleh terhadap $F_{\alpha, a-1, N-a}$ menggunakan kurva F . Prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan rasio F_o secara teoritis adalah sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.3.⁽²³⁾

Tabel 2.3 Anova untuk 2^3 faktorial⁽²³⁾

Faktor	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (DF)	Mean Square (MS)	F_0
<i>A treatment</i>	SS_A	$(a-1)$	MS_A	MS_A/MS_E
<i>B treatment</i>	SS_B	$(b-1)$	MS_B	MS_B/MS_E
<i>C treatment</i>	SS_C	$(c-1)$	MS_C	MS_C/MS_E
<i>AB treatment</i>	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	MS_{AB}	MS_{AB}/MS_E
<i>AC treatment</i>	SS_{AC}	$(a-1)(c-1)$	MS_{AC}	MS_{AC}/MS_E
<i>BC treatment</i>	SS_{BC}	$(b-1)(c-1)$	MS_{BC}	MS_{BC}/MS_E
<i>ACB treatment</i>	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC}	MS_{ABC}/MS_E
<i>Error</i>	SS_E	$abc(n-1)$	MS_E	
<i>Total</i>	SS_T	$abcn-1$		

Dimana:

$A, B,$ dan C adalah : faktor/variabel

a, b, c, ab, ac, bc, abc adalah : tingkat pengaruh terhadap respon

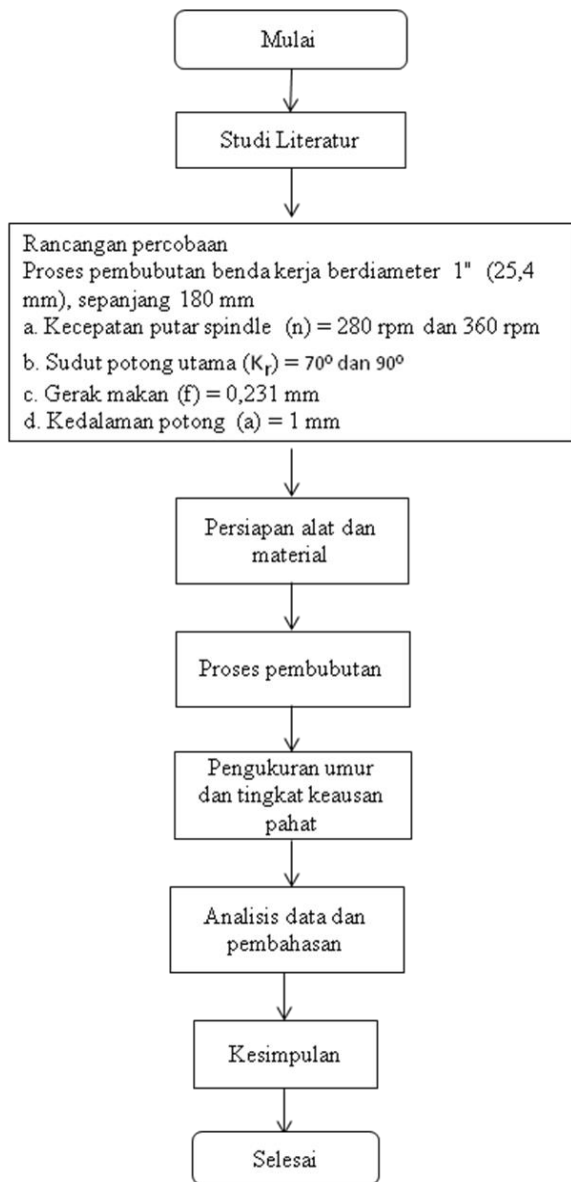
4. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahaan penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- a. Persiapan alat dan bahan
- b. Pelaksanaan pengujian
- c. Pengolahan dengan factorial desain 2^3
- d. Menentukan nilai n dan C_T dari persamaan

- Umur pahat Taylor
- e. Response Surface Methodology (RSM)
- f. Analisis pengaruh variabel proses terhadap umur pahat
- g. Pengambilan kesimpulan

3.2 Diagram Alir Penelitian



5. Pembahasan

4.1. Deskripsi Pengujian

Pada pelaksanaan pengujian, parameter pemesinan yang divariasikan adalah kecepatan putar spindle (n) = 280 rpm dan 360 rpm, geometri pahat yang divariasikan adalah sudut potong utama (κ_r) = 50°, 60°, 70° dan 90°.

Objek yang akan diselidiki dalam penelitian ini adalah:

- Menganalisa peningkatan keausan tepi (V_B) terhadap umur pahat.
- Pengaruh kecepatan putar spindle dan sudut potong utama yang divariasikan terhadap umur pahat.
- Menentukan harga eksponen n dan konstanta C_T dari persamaan umur pahat Taylor.

4.2. Rancangan Pengujian

Pada penelitian ini, untuk menentukan umur pahat digunakan desain eksperimen, yaitu rancangan faktorial 2^3 , dengan tiga variabel yang masing-masing memiliki dua level.

Pada eksperimen ini diperoleh desain faktorial 2^3 seperti dalam Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Dengan demikian, maka diperlukan delapan kondisi, atau delapan kombinasi perlakuan yang berbeda-beda, untuk mendapatkan umur pahat.

Tabel 4.1 Tiga variabel input dengan dua level

Kecepatan Putar Spindle (n) (rpm)		Sudut Potong Utama (κ_r) (°)		Merk Pahat HSS (M)	
-	+	-	+	-	+
280	360	70	90	Bohler MO Rapid Exstra 1200	ASSAB 17 Sweden

Tabel 4.2 Desain faktorial 2³

No.	Kecepatan Putar Spindle (n) (rpm)	Sudut Potong Utama (κ_r) (°)	Merk Pahat HSS (M)	Umur Pahat (T _c) (menit)
1	280	70	Bohler MO Rapid Exstra 1200	
2	360	70		
3	280	90		
4	360	90		
5	280	70	ASSAB 17 Sweden	
6	360	70		
7	280	90		
8	360	90		

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda kerja yang berbentuk poros dengan diameter 25,4 mm dan panjang 200 mm.
2. Memasang benda kerja pada cekam (*chuck*) mesin bubut, dan senter putar pada kepala lepas.
3. Memasang pahat pada tool post, kemudian menyeting pahat tegak lurus terhadap sumbu spindle, dan ujung pahat setinggi senter.
4. Melakukan pengujian proses pembubutan silindrik dengan variabel proses pemesinan yang telah ditentukan, mengukur waktu pemotongan dengan menggunakan *stopwatch*, lama pemantauan keausan sampai batas kritis keausan tepi ($V_{B\ max} = 0,300\ mm$).
5. Menghentikan mesin, kemudian melakukan pengukuran keausan tepi pahat menggunakan micrometer.
6. Apabila pada pengukuran pertama batas keausan kritis belum tercapai, maka melakukan kembali proses pembubutan sampai batas keausan yang ditetapkan. Umur pahat merupakan seluruh waktu pemotongan, sehingga dicapai batas keausan yang ditetapkan, yaitu $V_B = 0,300\ mm$.
7. Untuk pengujian kedua, melakukan kembali proses pembubutan dengan variabel proses pemesinan yang sesuai dengan susunan pengujian, dan melakukan kembali pengukuran keausan tepi.

4.3 Data Hasil Pengujian Tahap Pertama

Data umur pahat hasil pengujian proses pembubutan baja St-41, seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tahap Pertama

No.	Kecepatan Putar Spindle (n) (rpm)	Sudut Potong Utama (κ_r) ($^\circ$)	Merk Pahat HSS (M)	Umur Pahat (T_c) (menit)
1	280	70	Bohler MO Rapid Exstra 1200	97,53
2	360	70		59,50
3	280	90		84,23
4	360	90		52,50
5	280	70	ASSAB 17 Sweden	104,18
6	360	70		70,00
7	280	90		86,45
8	360	90		56,00

Dari hasil pengujian didapat gesekan terpanjang untuk pahat HSS Bohler MO Rapid extra 1200, terjadi pada kecepatan putar spindel 280 rpm, dan sudut potong utama 70° , yaitu 2.113.151 mm.

Untuk pahat HSS ASSAB 17 Sweden panjang gesekan terjadi pada kecepatan putar spindel 280 rpm, dan sudut potong utama 70° , yaitu 2.255. 561 mm.

4.5. Pengolahan Data Hasil Pengujian Tahap Pertama

Dari data yang diperoleh hasil pengujian, kemudian dilakukan pengolahan yaitu dengan menggunakan metode *Algoritma Yates*. Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Algoritma Yates untuk melihat pengaruh n, κ_r , dan M terhadap umur pahat.

No	Umur Pahat (T_c) (min)	I	II	III	divider	Estimates	
1	97,53	157,03	293,76	610,39	8	76,30	rata-rata
2	59,50	136,73	316,63	-134,39	4	-33,60	n
3	84,23	174,18	-69,76	-52,03	4	-13,01	κ_r
4	52,50	142,45	-64,63	10,03	4	2,51	n κ_r
5	104,18	-38,03	-20,3	22,87	4	5,72	M
6	70,00	-31,73	-31,73	5,13	4	1,28	n M
7	86,45	-34,18	6,3	-11,43	4	-2,86	κ_r M
8	56,00	-30,45	3,73	-2,57	4	-0,64	n κ_r M

Dari pengolahan data diatas dapat diperoleh bahwa parameter yang dapat memberikan pengaruh terhadap umur pahat yaitu:

1. Kecepatan putar spindle sebesar 33,60 menit, artinya apabila mengubah kecepatan putar spindle dari 360 rpm menjadi 280 rpm, maka akan memperbesar umur pahat sebesar 33,60 menit.
2. Sudut potong utama sebesar 13,60 menit, artinya apabila mengubah sudut potong utama dari 90° menjadi 70°, maka akan memperbesar umur pahat sebesar 13,60 menit.
3. Merk pahat 5,72 menit, artinya apabila mengganti penggunaan pahat dari HSS Bohler MO Rapid Extra 1200 menjadi ASSAB 17 Sweden, maka akan memperbesar umur pahat sebesar 5,72 menit.

Dua variabel yang berpengaruh terhadap umur pahat, yaitu kecepatan putar spindle dan sudut potong utama.

Berdasarkan hasil pengujian pertama yang dilaksanakan dengan cara membentuk sudut potong utama 70° dan 90°, kecepatan putar spindle 280 rpm dan 360 rpm ditemukan adanya perbedaan umur pahat antara pahat HSS Bohler MO Rapid Extra 1200 dan HSS ASSAB 17 Sweden, yaitu sebesar 5,72 menit.

Di dalam hal tersebut dengan pendugan, jika mengubah sudut potong utama, maka umur pahat akan meningkat. Untuk membuktikan hal tersebut, maka dilakukan pengujian tahap kedua menggunakan pahat HSS ASSAB 17 Sweden, dengan mengubah sudut potong utama, yaitu sudut potong utama 50° dan 60°, dengan kecepatan putar spindle 280 rpm dan 360 rpm .

4.6. Data Hasil Pengujian Tahap Kedua

Data umur pahat hasil pengujian tahap kedua pada proses pembubutan baja St-41, Seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian tahap kedua

No.	Kecepatan Putar Spindel (n) (rpm)	Sudut Potong Utama (κ_r) (°)	Umur Pahat (T_c) (menit)
1	280	50	164,03
2	360	50	103,25
3	280	60	131,30
4	360	60	77,00

Dari hasil perhitungan panjang gesekan pada tahap kedua dengan pahat HSS ASSAB 17 Sweden, terjadi pada kecepatan putar spindle 280 rpm, dan sudut potong utama 50o, sebesar 3.542.147 mm.

4.7 Pengolahan Data Hasil Pengujian Tahap Kedua

Dari data yang diperoleh hasil pengujian tahap kedua, kemudian dilakukan pengolahan yaitu dengan menggunakan metode *Algoritma Yates*, hasil pengolahan data seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pengolahan data dengan Algoritma Yates

No.	Umur pahat (T _c) (min)	I	II	divider	Estimates	
1	164,03	267,28	475,58	4	118,90	rata-rata
2	103,25	208,3	-115,08	2	-57,54	n
3	131,30	-60,78	-58,98	2	-29,49	κ _r
4	77,00	-54,3	6,48	2	3,24	n κ _r

Dari hasil pengolahan data di atas, dengan perubahan variabel sudut potong utama, data yang dihasilkan mengalami peningkatan, dibandingkan dengan pengujian tahap pertama. Parameter yang dapat memberikan pengaruh terhadap umur pahat, yaitu:

1. Kecepatan putar spindle sebesar -57,54 menit, artinya apabila mengubah kecepatan putar spindle dari 360 rpm menjadi 280 rpm, maka akan memperbesar umur pahat sebesar 57,54 menit.

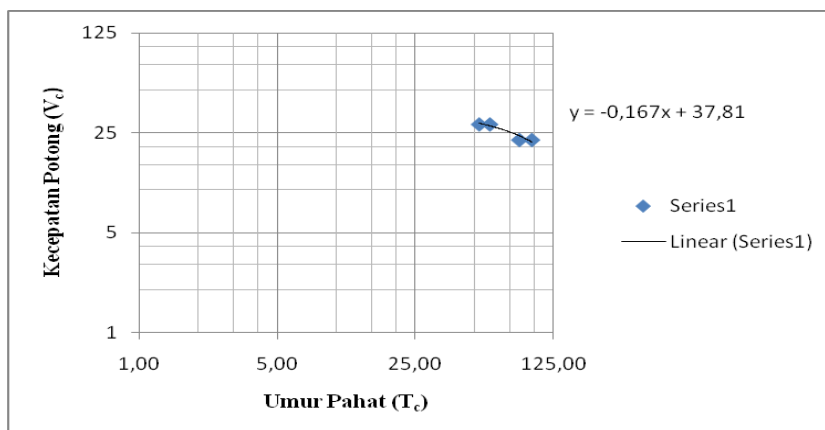
2. Sudut potong utama sebesar -29,49 menit, artinya apabila mengubah sudut potong utama dari 60° menjadi 50°, maka akan memperbesar umur pahat sebesar 29,49 menit.

Dari hasil pengujian tahap pertama dan tahap kedua, setelah dianalisis dengan metode Algoritma Yates, maka dapat disimpulkan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap umur pahat adalah kecepatan putar spindle dan sudut potong utama.

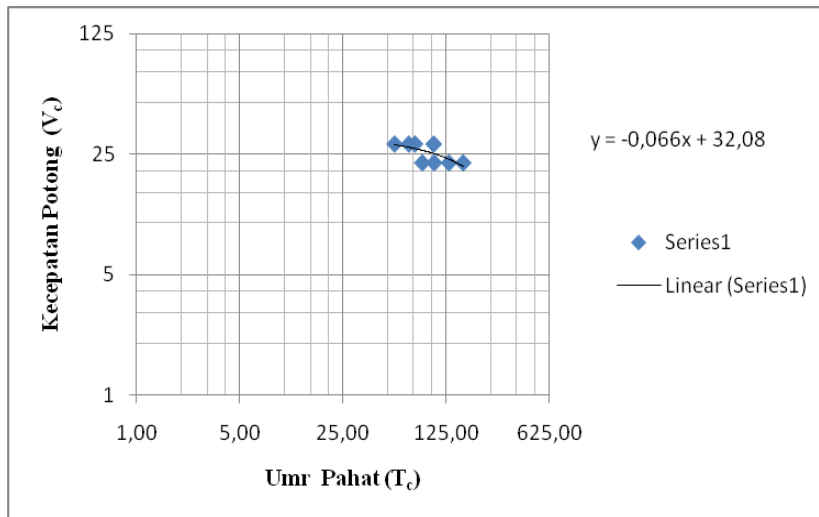
4.8. Kriteria Umur Pahat

Dari hasil pengujian akan dibuat grafik hubungan antara umur pahat dengan kecepatan potong. Dari hasil pengujian akan dibuat grafik hubungan antara umur pahat dengan kecepatan potong.

Dari data tersebut dibuat grafik logaritma, (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2), dan umur pahat dianggap sebagai fungsi dari kecepatan potong.



Gambar 4.1 Grafik logaritma kecepatan potong dengan umur pahat HSS Bohler MO Rapid Exstra 1200



Gambar 4.2 Grafik logaritma kecepatan potong dengan umur pahat HSS ASSB 17 Sweden

Rumus umur pahat Taylor $V T^n = C_T$, dimana nilai n sangat ditentukan dari karakteristik benda kerja dan material alat potong yang digunakan.. Nilai konstanta C_T ditentukan pada titik dimana umur pahat $T_C = 1$ menit. Nilai n dihitung dengan Persamaan berikut:

$$n = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_2 - \log T_1}$$

sedangkan kecepatan potong dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{\pi d n}{1000}$$

Nilai $n = 0,474$, dari gambar 4.1 dapat ditentukan untuk $T_C = 1$ menit, maka $C_T = 37,6$, sehingga persamaan umur pahat untuk HSS Bohler MO Rapid Exstra 1200 adalah $V.T^{0,474} = 37,6$

Nilai $n = 0,226$, dari gambar 4.2 dapat ditentukan untuk $T_C = 1$ menit, maka $C_T = 32$, sehingga persamaan umur pahat Taylor untuk HSS ASSAB 17 Sweden adalah $V.T^{0,226} = 32$.

4.9. Response Surface Methodology (RSM)

Metode RSM digunakan untuk mencari harga optimum dari sebuah pengujian, untuk pengujian umur pahat dilakukan dengan menggunakan tiga variabel, yang masing-masing variabel terdiri dari dua level. Data hasil pengujian dianalisis secara statistik dengan bantuan software Minitab 15, diolah dan didapat hasil seperti pada Tabel 4.8, dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8. Uji parameter koefisien regresi umur pahat

Regression Analysis: Umur pahat versus Kecepatan putar spindle; Sudut potong utama.

The regression equation is

$$\text{Umur pahat} = 359 - 0,520 \text{ Kecepatan putar spindle} - 1,42 \text{ Sudut potong utama}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	358,86	33,15	10,83	0,000
Kecepatan putar spindle	-0,51973	0,08783	-5,92	0,000
Sudut potong utama	-1,4240	0,2402	-5,93	0,000

S = 12,1698 R-Sq = 88,6% R-Sq(adj) = 86,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	10390,9	5195,5	35,08	0,000
Residual Error	9	1332,9	148,1		
Total	11	11723,9			

Dari hasil pengolahan dengan Minitab 15, diperoleh bentuk persamaan orde dua Y , untuk umur pahat (T_c).
 Persamaan linier orde dua umur pahat (T_c), adalah:

$$Y = 359 - 0,520(X_1) - 1,42(X_2)$$

Dimana: X_1 = kecepatan putar spindle
 X_2 = sudut potong utama

Dari analisa varian sebagaimana dapat dilihat pada tabel anava dan persamaan (tabel 4,9), diperoleh nilai P lebih kecil dari 0,05, artinya bahwa persamaan dapat diterima untuk mempersentasikan hubungan antara kecepatan putar spindle (n), sudut potong utama (κ_r) dengan respon (umur pahat).

Tabel 4.9. Anova umur pahat

General Linear Model: Umur pahat versus Kecepatan putar spindel; Sudut potong utama						
Factor	Type	Levels	Values			
Kecepatan putar spindel	fixed	2	280; 360			
Sudut potong utama	fixed	4	50; 60; 70; 90			
Merk pahat	fixed	2	Assab; Bohler			
Analysis of Variance for Umur pahat, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kecepatan putar spindel	1	5186,3	5537,4	5537,4	812,49	0,000
Sudut potong utama	3	6046,6	4366,2	1455,4	213,55	0,001
Merk pahat	1	65,4	65,4	65,4	9,59	0,053
Kecepatan putar spindel*	3	405,2	405,2	135,1	19,82	0,018
Sudut potong utama						
Error	3	20,4	20,4	6,8		
Total		11	11723,9			
S = 2,61061		R-Sq = 99,83%		R-Sq(adj) = 99,36%		

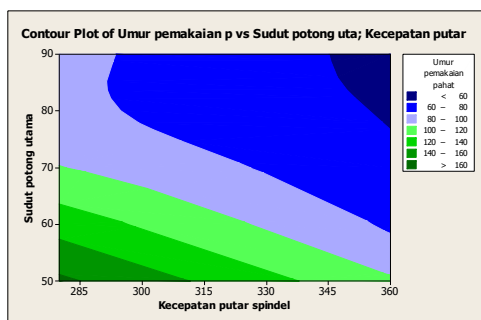
4.10. Analisis Karakteristik Permukaan Respon

Model *response surface* ditunjukkan dengan cara membuat *plot contour* respon (umur pahat) dengan tiga faktor yang mempengaruhi respon, yaitu fungsi kecepatan putar spindle, sudut potong utama dan merk pahat.

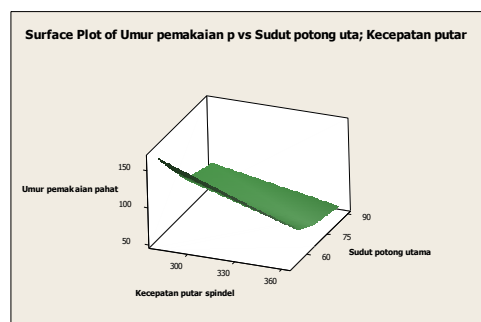
Hasil *running* untuk program *response surface* menghasilkan dua gambar berupa Grafik *Contour* dan Grafik *Surface* seperti pada Gambar 4.3.

Penentuan kondisi optimum dari faktor di atas dibuktikan dengan bentuk kurva tiga dimensi yang membentuk puncak optimum seperti pada Gambar 4.4

Umur pahat optimum tidak dapat dicapai, karena kecepatan putar semakin rendah, dan sudut potong utama semakin kecil umur pahat semakin besar.

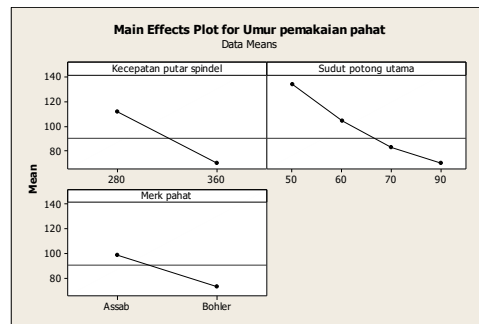


Gambar 4.3 Plot kontur umur pahat (T_c) vs n dan (K_r)



Gambar 4.4 Plot kontur umur pahat (T_c) vs n dan (K_r)

4.11. Output Main Effect Plot Umur Pahat



Gambar 4.5 Grafik *main effect plot* untuk variabel dependen umur pahat

Dari grafik di atas terdapat perbedaan umur pahat HSS yang cukup landai antara merk ASSAB 17 Sweden dengan Bohler MO Rapid Exstra 1200. Pahat HSS merk ASSAB 17 Sweden memiliki umur pahat rata-rata sebesar 99,03 menit, sedangkan pahat HSS merk Bohler MO Rapid Exstra 1200 memiliki umur pahat rata-rata sebesar 77,44 menit.

Perbedaan kecepatan putar spindle terhadap umur pahat lebih tajam jika dibandingkan dengan perbedaan merk pahat. Kecepatan putar spindle (n) 280 rpm memiliki umur pahat rata-rata sebesar 111,28 menit, sedangkan kecepatan putar spindle (n) 360 rpm memiliki umur pahat rata-rata sebesar 69,71 menit.

Perbedaan sudut potong utama terhadap umur pahat, hampir sama dengan ketajaman perbedaan kecepatan putar spindle. Sudut potong utama (κ_r) 50° memiliki umur pahat rata-rata sebesar 133,64 menit, sudut potong utama 60° memiliki umur pahat rata-rata sebesar 104,15 menit, sudut potong utama 70° memiliki umur pahat rata-rata sebesar 82,80 menit, dan sudut potong utama 90° memiliki umur pahat rata-rata sebesar 69,79 menit.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa umur pahat tertinggi dari proses pemesinan dengan kecepatan putar spindle terendah, sudut potong utama terkecil, dimiliki oleh pahat HSS merk ASSAB 17 Sweden.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Umur pahat terbesar 164,03 menit, dengan panjang gesekan 3.542.174 mm terjadi pada pahat HSS ASSAB 17 Sweden pada kecepatan putar spindle 280 rpm, dan sudut potong utama 50°
2. Parameter yang berpengaruh terhadap umur pahat adalah kecepatan putar spindle dan sudut potong utama.
3. Persamaan umur pahat Taylor untuk pahat HSS Bohler MO Rapid Ekstra 1200 yaitu $VT^{0,474} = 37,6$, dan untuk pahat HSS ASSAB 17 Sweden yaitu $VT^{0,226} = 32$.
4. Hasil perhitungan menggunakan software Minitab dengan metode *multi linier regression*, menghasilkan persamaan regresi linier umur pahat, yaitu:

$$Y = 359 - 0,520 (X_1) - 1,42 (X_2)$$
 dengan $X_1 =$ Kecepatan putar spindle, $X_2 =$ Sudut potong utama, dan $Y =$ Respon umur pahat
5. Dari Anova diperoleh bahwa kecepatan putar spindle, sudut potong utama, dan interaksi kecepatan putar spindle dengan sudut potong utama semua menunjukkan signifikan. Hal tersebut dilihat dari $F_{hitung} > F_{tabel}$, dan $P_{value} <$ dari level signifikan 5%.

6. Gambar plot *contour* tiga dimensi menunjukkan kecepatan putar spindel semakin rendah, dan sudut potong utama semakin kecil umur pahat semakin besar, sehingga tidak ditemukan umur pahat optimim. Umur pahat akan optimim ketika pahat tidak digunakan.

5.1 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka saran-saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Penelitian perlu dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan jenis-jenis sudut pahat yang lebih spesifik, agar kecenderungan terlihat lebih jelas.
2. Perlu dilakukan penelitian pada material benda kerja dengan diameter berbeda, dan lebih keras seperti baja karbon medium.
3. Perlu dilakukan penelitian pada material St-41 dengan variasi sudut geram (*side rake angle*), dan menggunakan cairan pendingin.

6.Pustaka

1. Rochim, T. (1993): *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Laboratorium Teknik Produksi, FTI, Institut Teknologi Bnadung.
2. Boothroyd. G. (1975): *Fundamental of Metal Cutting*, Mc. Graw-hillco, New York.
3. Widarto. (2008): *Teknik Pemesinan jilid 2*, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
4. Groover. M. P. (1997): *Fundamental of Modern Manufacturing* , Profesor of Industrial and Systems Engineering, Lehigh University.
5. Schmid. K. (2001), *Manufacturing Engineering and Technologi*, Prentice Hall.
6. Coromant. S. (2003), *Technical Information*, Tool wear.

7. Budiman. H. dan Richard. (2007): *Analisa Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metode Variabel Speed Machining Test*.
8. Suprpto. A. Iswantoko. A dan Widyastuti. I (2013): *Evaluasi Dampak Cryogenic Treatment dan Temper terhadap Karakteristik Keausan dan Umur Pahat Karbida pada Pembubutan Al T-6061*, Universitas Merdeka Malang
9. Schonmetz. A, Sinnl. P, Heuberger. J. (1985): *Pengerjaan Logam dengan Mesin*, ANGKASA Bandung.
10. Oerbandono. T., Andika. R: *Pengaruh Putaran Spindle dan Defth of Cut terhadap keausan Pahat Positif Rhombic Insert pada Proses Turning*.
11. Dalimunthe. R, (2009): *Pengaruh Kecepatan Potong terhadap Umur Pahat HSS pada Proses Pembubutan AISI 4340*, Fakultas Teknik Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai.
12. Sonawan. H. (2015): *Catatan kuliah Perancangan dan percobaan*, Universitas Pasundan Bandung.