

**BAB IV**  
**PEMBAHASAN HASIL PENGUKURAN**  
**DAN ANALISA**

**4.1 DATA HASIL PERCOBAAN**

Untuk pengukuran kekasaran (*roughness*) diambil nilai *Roughness average* (Ra) begitu juga untuk kegelombangan (*waviness*) diambil nilai rata – rata gelombang (Wa). Hasil pengukuran yang diambil merupakan hasil rata-rata. Berdasarkan pengukuran menggunakan alat ukur MITUTOYO S3000 didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut (tabel 4.1):

**4.1.1 Analisa Nilai Hasil Pengukuran**

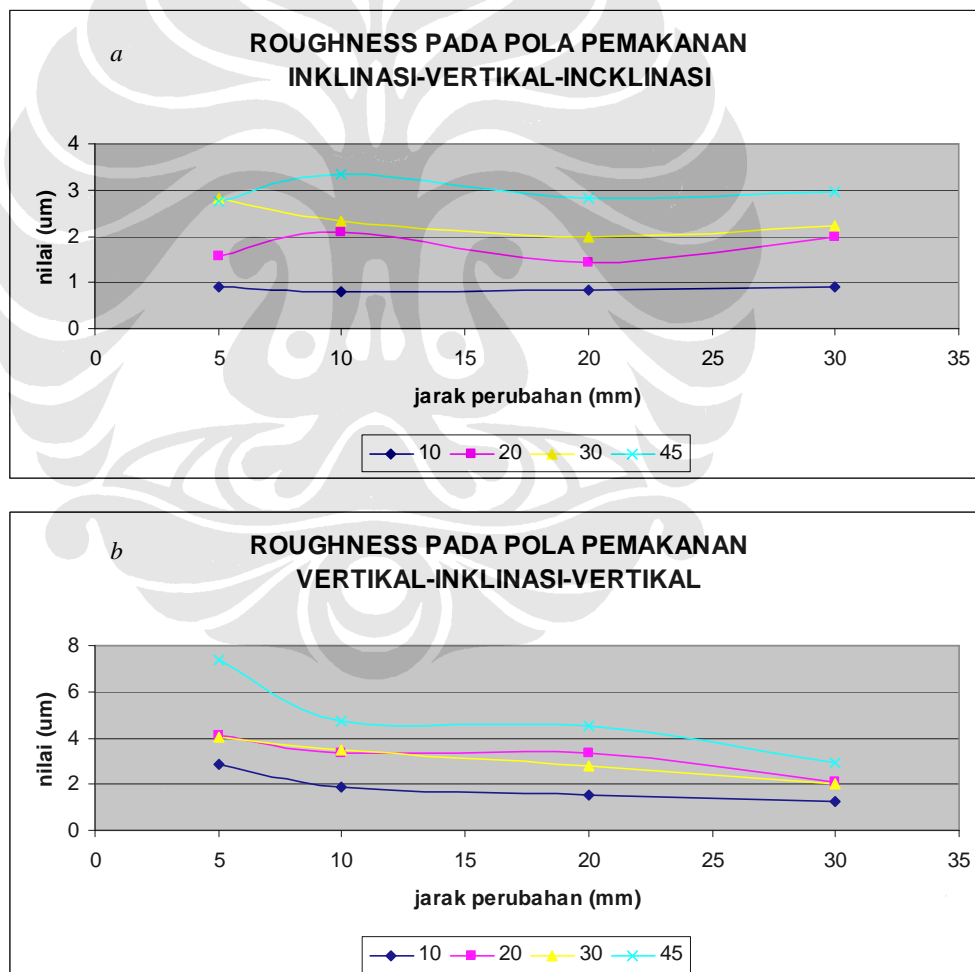
Pada percobaan dengan laju pemakanan konstan digunakan *feedrate* 1000 mm/detik dan juga *spindel speed* 2500 rpm. Laju pemakanan konstan maksudnya ditiap titik menggunakan laju pemakanan yang tetap dan tidak berubah. Berikut adalah tabel hasil pengukurannya.

Tabel 4.1 Data Percobaan dengan *Feedrate* Konstan

NO	Pola <i>toolpath</i>	Pergerakan Sudut (derajat)	Jarak Perubahan Sudut (mm)	HASIL	
				Ra (µm)	Wa (µm)
1	Inklinasi – vertikal – inklinasi  (INC-VER- INC)	10 – 0 – 10	30	0.888	0.312
2			20	0.823	0.185
3			10	0.783	0.213
4			5	0.917	0.357
5		20 – 0 – 20	30	1.982	0.483
6			20	1.429	0.415
7			10	2.098	1.35
8			5	1.58	0.969
9		30 – 0 – 30	30	2.216	0.512
10			20	1.978	0.748
11			10	2.347	1.533
12			5	2.812	2.812
13		45 – 0 – 45	30	2.965	0.626
14			20	2.821	0.91
15			10	3.337	2.182
16			5	2.747	1.999
17	vertikal – inklinasi –	0 – 10 – 0	30	1.268	0.368
18			20	1.542	0.371

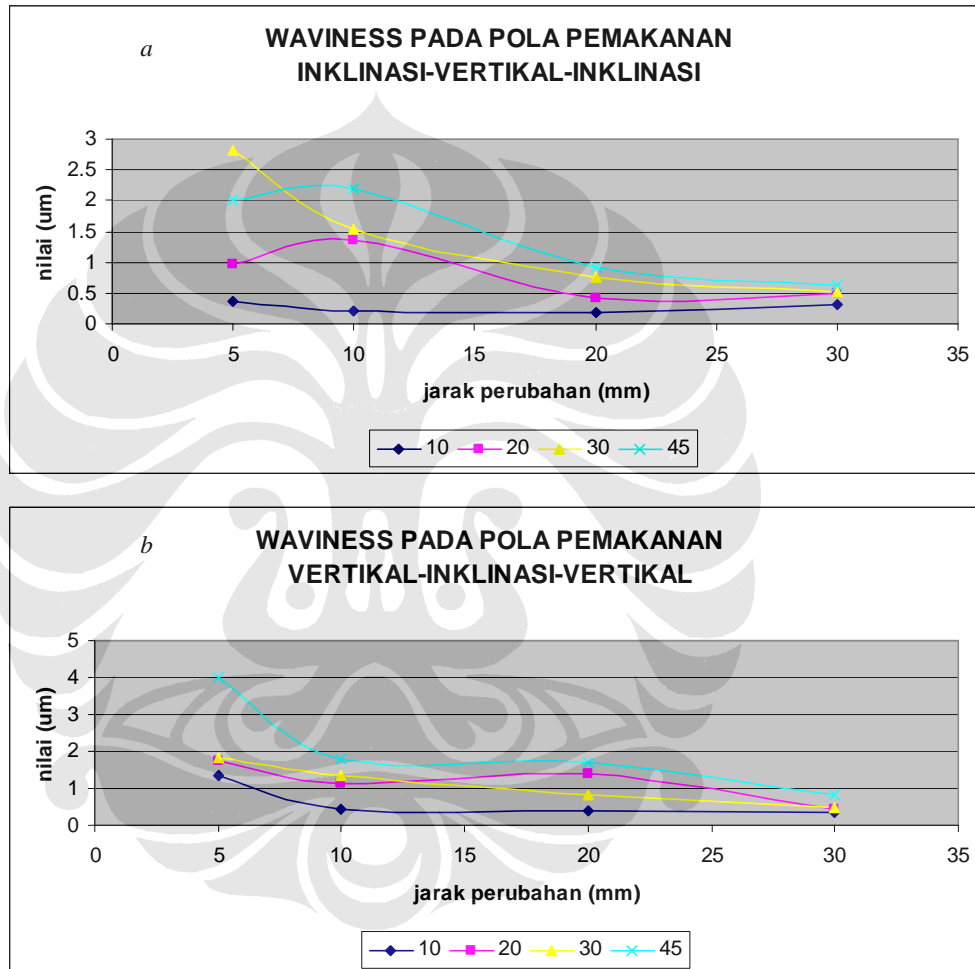
19	vertikal (VER-INC- VER)		10	1.86	0.456
20			5	2.864	1.334
21		0 – 20 – 0	30	2.101	0.444
22			20	3.351	1.398
23			10	3.372	1.129
24			5	4.085	1.723
25		0 – 30 – 0	30	2.03	0.477
26			20	2.749	0.838
27			10	3.496	1.36
28			5	4.062	1.817
29		0 – 45 – 0	30	2.934	0.838
30			20	4.555	1.681
31			10	4.755	1.796
32			5	7.408	4.006

Berikut adalah grafiknya untuk pola inklinasi-vertikal-inklinasi;



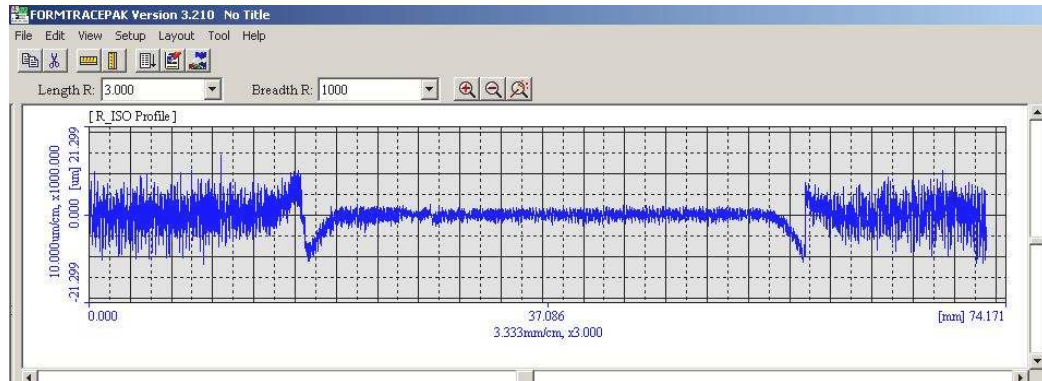
Gambar 4.1 Grafik Roughness Untuk Laju Pemakanan Konstan, a) Pola Pemakanan Inklinasi-Vertikal-Inklinsi, b) Pola Pemakanan Vertikal-Inklinsi-Vertikal

Dari pesebaran grafik *waviness* di atas dapat diketahui bahwa semakin besar perubahan sudut inklinalasi maka semakin besar nilai Ra. Dan jika dilihat pada jarak perubahan sudut maka semakin sempit (pendek) jarak untuk melakukan perubahan maka Ra juga meningkat.

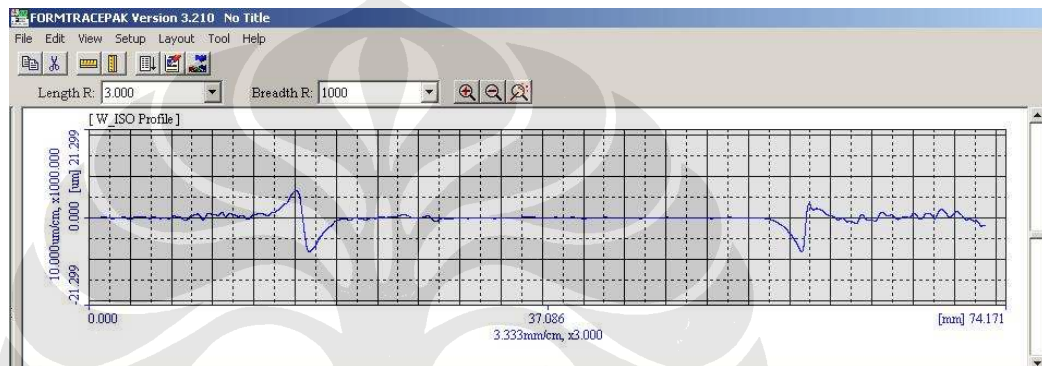


Gambar 4.2 Grafik Waviness Untuk Laju Pemakanan Konstan, a) Pola Pemakanan Inklinalasi-Vertikal-Inklinalasi, b) Pola Pemakanan Vertikal-Inklinalasi-Vertikal

Dari grafik *waviness* di atas dapat diketahui bahwa semakin besar perubahan sudut inklinalasi maka semakin besar nilai Wa. Dan jika dilihat pada jarak perubahan sudut maka semakin sempit (pendek) jarak untuk melakukan perubahan maka Wa juga meningkat.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Dengan Menggunakan Mitutoyo S-3000

a. Grafik Hasil Pengukuran Ra Untuk Sampel 30° Blend Distance 20

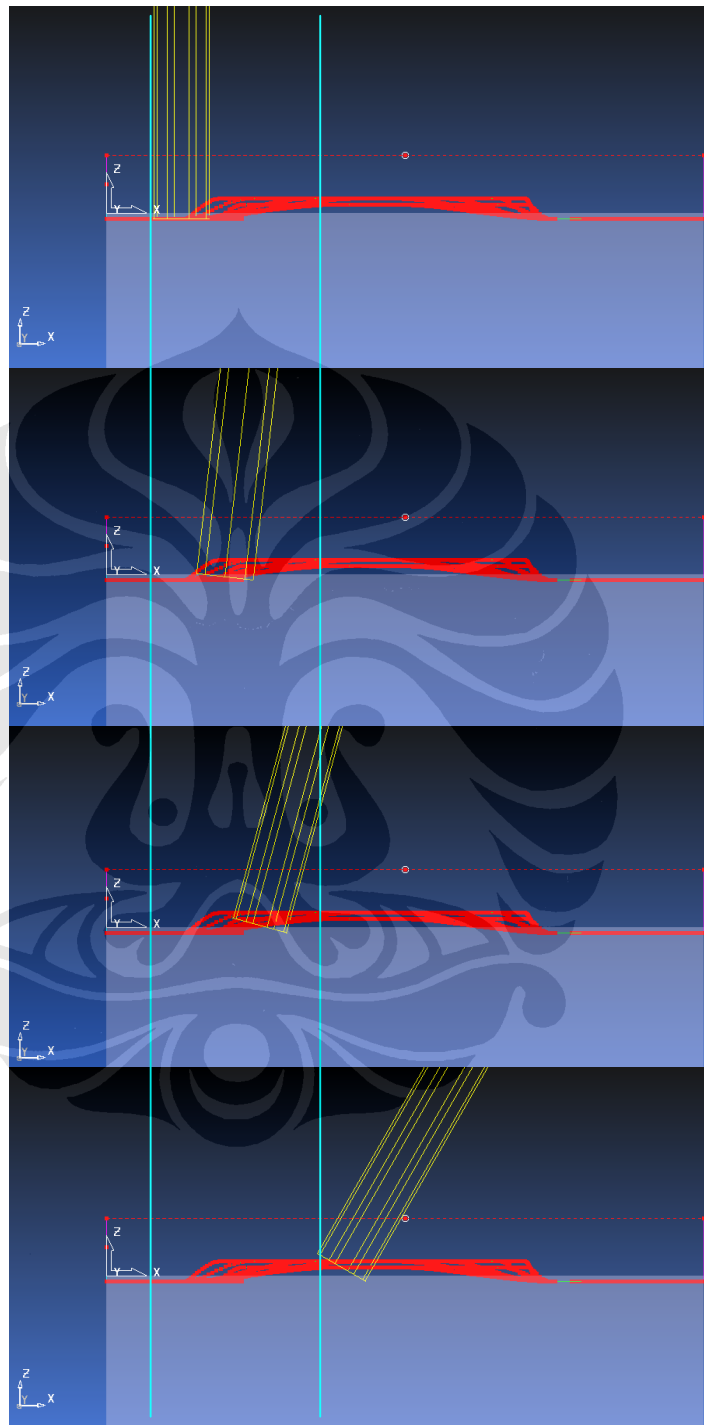
b. Grafik Hasil Pengukuran Wa Untuk Sampel 30° Blend Distance 20

#### 4.1.2 Analisa Pola Pergerakan Tool Terhadap Hasil Percobaan

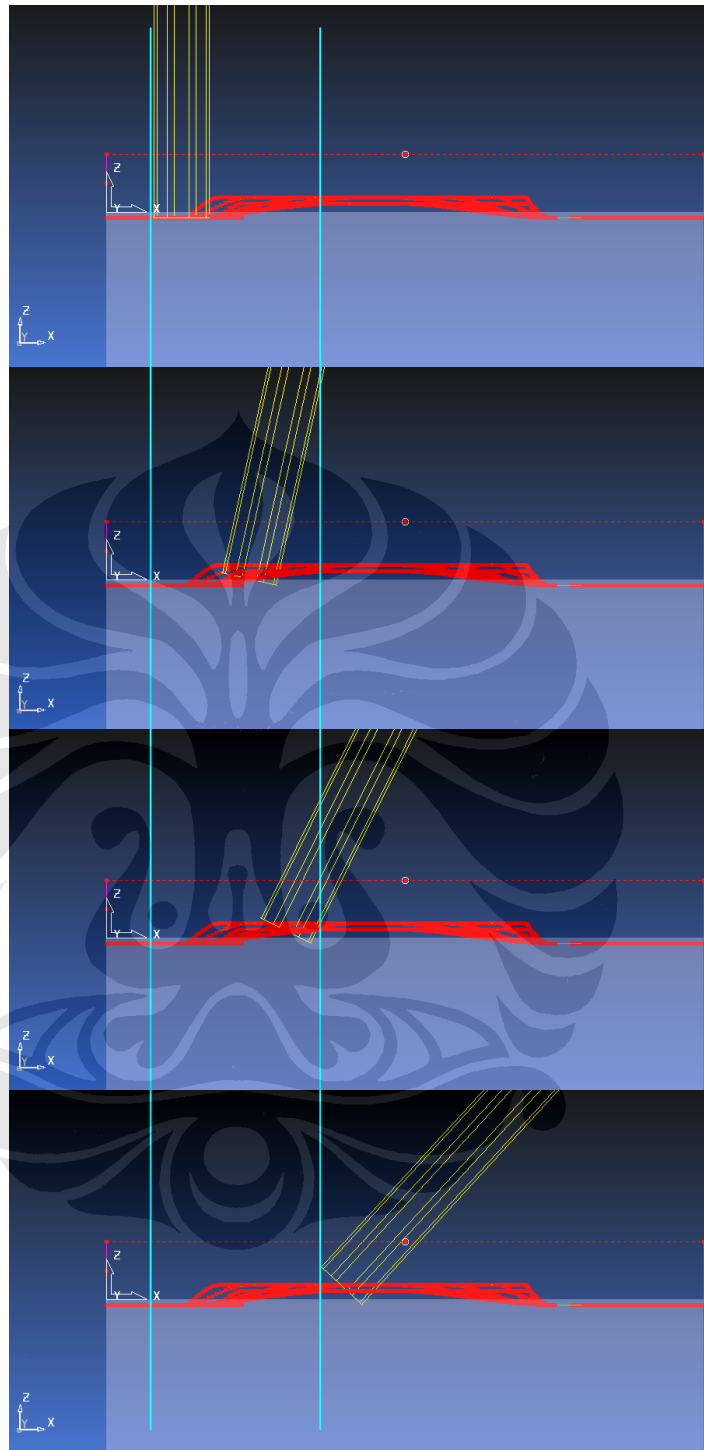
Dari data yang didapatkan diketahui tren pesebaran data hubungan nilai Ra dan Wa terhadap sudut dan juga jarak perubahan sudut. Hasilnya adalah semakin besar nilai perubahan sudut (misal dari 0° ke 45°) maka nilai Ra dan Wa akan cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan perubahan sudut yang lebih kecil (misal 0° ke 10°) dengan jarak perubahan sudut yang sama. Begitu juga dengan jarak perubahan sudutnya, jika semakin pendek maka akan semakin nilai Ra dan Wa akan cenderung lebih besar.

Data ini terjadi karena semakin cepatnya *tool* untuk bergerak melakukan perubahan sudut. Jika dengan jarak yang sama dan perubahan sudut berbeda,

maka perubahan sudut yang lebih besar akan melakukan pergerakan inklinasi yang lebih cepat.



Gambar 4.4 Perubahan Sudut Tool dari 0 sampai 30 dengan Jarak Perubahan 30



Gambar 4.5 Perubahan Sudut Tool dari 0 sampai 45 dengan Jarak Perubahan 30

Dari gambar 4.2 dan 4.3 dapat dilihat simulasi pergerakan tool dengan perubahan sudut inklinasi berbeda dengan jarak perubahan yang sama. Untuk jarak yang sama (garis biru), terlihat gambar 4.3 yaitu sudut  $45^\circ$  melakukan

perubahan 0 ke 45°, dengan begitu maka akan melakukan perubahan sudut yang lebih cepat.

Untuk jarak perubahan sudut 30 mm maka kecepatan perubahan sudutnya:

► Dari 0 ke 30

$$v = \Delta \text{sudut} / s \\ = 30 / 30 = 1$$

Maka kecepatan perubahan sudutnya adalah 1°/mm

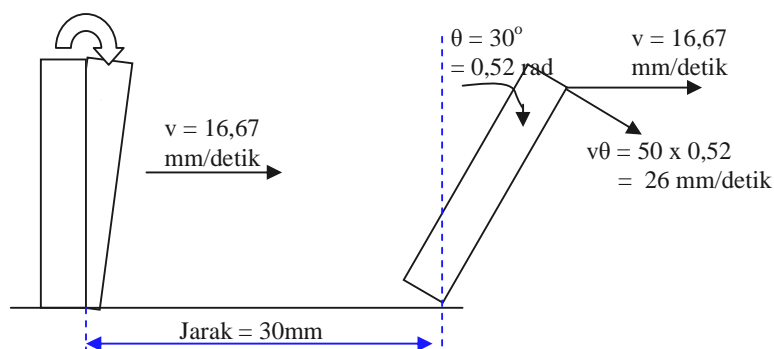
► Dari 0 ke 45

$$v = \Delta \text{sudut} / s \\ = 45 / 30 = 1,5$$

Maka kecepatan perubahan sudutnya adalah 1,5°/mm

Untuk melakukan perubahan sudut dari 0° ke 30° dan dari 0° ke 45° mempunyai waktu yang sama yaitu dengan *feedrate* 1000 mm/menit. Ini berarti kecepatan tiap milimeter adalah 16,67 mm/detik. Kecepatan ini berlangsung konstan untuk arah pemakanan searah sumbu x (*zig*). Dengan begitu maka kecepatan dari titik 0 ke titik 1 mm adalah sama yaitu 16,67 mm/detik. Perbedaan terletak pada kecepatan sudutnya. Semakin besar perubahan sudut maka akan semakin cepat kecepatan sudutnya.

Gambar 4.2 terlihat terjadi perubahan kemiringan sudut dari 0 ke 30° dengan jarak 3 cm. Maka tiap milimeter tool akan menambah kemiringan sekitar 1°. Saat tool miring juga terdapat kecepatan pemakanan arah horizontal dengan nilai 16,67 mm/detik. Maka keadaan ini dapat diilustrasikan sebagai berikut;



Gambar 4.6 Ilustrasi Perubahan Sudut pada Tool

Dari gambar 4.4 diilustrasikan perubahan sudut inklinasi yang terjadi dengan jarak perubahan 30 mm. Dengan kecepatan pemakanan 16,67 mm/detik, maka dalam waktu 0,06 detik pahat akan bergerak sejauh 1 mm dan bersamaan dengan itu pahat akan berputar sejauh 0,0175 radian.

Perhitungan;

$$v = 16,67 \text{ mm/detik,}$$

maka dari perhitungan perubahan sudut dari di atas diketahui;

untuk jarak 1mm, maka  $1/16,67 = 0,06$  detik.

Laju perubahan sudutnya adalah ;

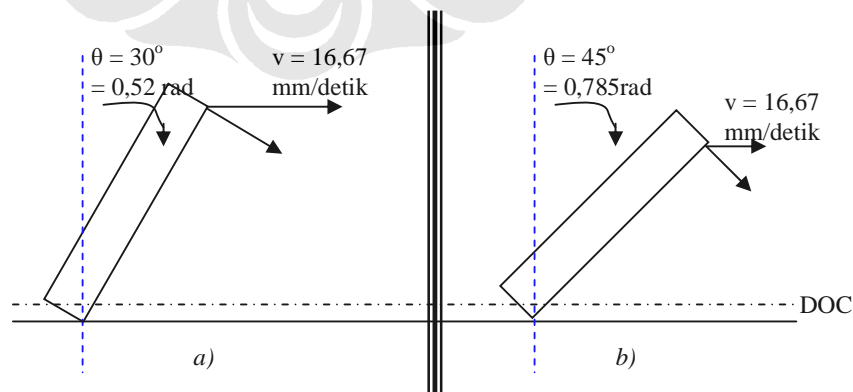
$$1 \times \frac{2\pi}{360} = 0,0175 \text{ rad, untuk perubahan tiap } 1 \text{ mm } 1^\circ (0^\circ \text{ ke } 30^\circ)$$

Dan,

$$1,5 \times \frac{2\pi}{360} = 0,0175 \text{ rad, untuk perubahan tiap } 1 \text{ mm } 1,5^\circ (0^\circ \text{ ke } 45^\circ)$$

#### 4.2 ANALISA TERBENTUKNYA KEKASARAN

Dari analisa hasil percobaan di atas dilihat ada perbedaan kecepatan perubahan sudut untuk tiap perubahan sudut inklinasi. Dan bersamaan dengan perubahan sudut inklinasi tersebut terdapat pergerakan ke arah x secara konstan. Dengan begitu maka ada 2 kecepatan yang mempengaruhi perubahan sudut inklinasi yaitu;  $v$  dan  $v\theta$ .

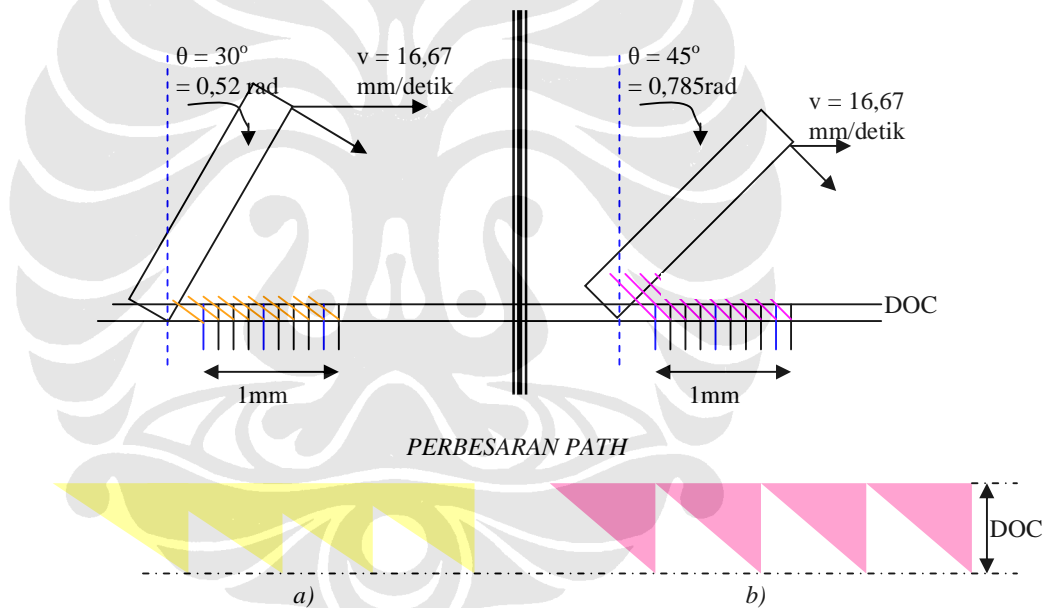


Gambar 4.7 Ilustrasi Perubahan Sudut pada Tool, a). pada perubahan  $0^\circ$  ke  $30^\circ$ , b) pada perubahan  $0^\circ$  ke  $45^\circ$



Dari ilustrasi gambar 4.5 diketahui bahwa semakin miring *tool* melakukan pemakanan maka area material yang terambil semakin kecil. Dengan begitu maka kekasaran pada permukaan dengan sudut inklinasi yang semakin tinggi akan meningkat. Ini berkaitan dengan kekasaran natural yang terjadi akibat laju pemakanan dan juga kecepatan putar pahat.

Dengan; kecepatan spindel ( $n$ ) = 2500 rpm = 41,67 putaran/detik dan laju pemakanan (*feedrate*) = 1000 mm/menit. Maka dapat diperkirakan kekasaran natural untuk tiap panjang 1 mm adalah;  $v = 16,67$  mm/detik, maka 1 mm ditempuh 0,06 detik. Dengan begitu dalam 0,06 detik *tool* berputar  $\Rightarrow 41,67 \times 0,06 = 2,5$  kali. Maka untuk jumlah *flute* 4, ilustrasi dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.8 Proses Pembentukan Kekasaran Natural Untuk Sudut Inklinasi, a)  $30^\circ$ , b)  $45^\circ$

Dari gambar di atas diketahui bahwa semakin besar (miring) sudut pemakanan yang dilakukan pahat maka kecenderungan kekasaran permukaan yang dihasilkan akan lebih kasar dibandingkan dengan sudut pemakanan yang kecil.

### 4.3 ANALISA TERBENTUKNYA GELOMBANG

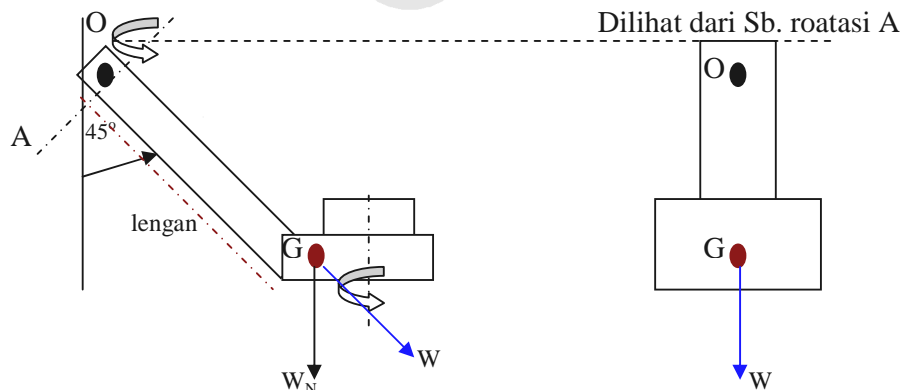
Dilihat dari gambar 4.3 a dan b (grafik hasil pengukuran) diketahui bahwa distribusi kekeasaran akan semakin besar bila *tool* melakukan pemakanan dengan sudut inklinasi. Hal tersebut terlihat jelas pada grafik hasil pengukuran (gambar 4.3 a). Sedangkan untuk gelombang (*waviness*) akan terbentuk pada saat peralihan sudut inklinasi *tool* (gambar 4.3 b). Besarnya *waviness* ini tergantung dari besar perubahan sudut yang terjadi dan juga jarak untuk melakukan perubahan sudut tersebut.

Semakin besar dan pendek jarak perubahan sudut maka gelombang (*waviness*) yang terbentuk akan semakin besar. Ini terjadi karena adanya efek dinamik dari mesin dalam melakukan manuver inklinasi. Saat mesin melakukan pemakanan dengan sudut yang konstan keadaan gaya – gaya yang terjadi pada mesin cenderung konstan. Tetapi pada saat mesin melakukan perubahan sudut (dalam mesin DMU 50e *bed* benda yang bergerak) maka mesin akan melakukan gerakan tertentu dan berhenti pada jarak tertentu. Proses awal dan akhir saat mesin bergerak ini yang mempunyai efek terhadap munculnya gelombang pada benda kerja.



Gambar 4.9 Perubahan Sudut Inklinasi Pada Mesin

Sketsa pergerakan *bed* mesin.

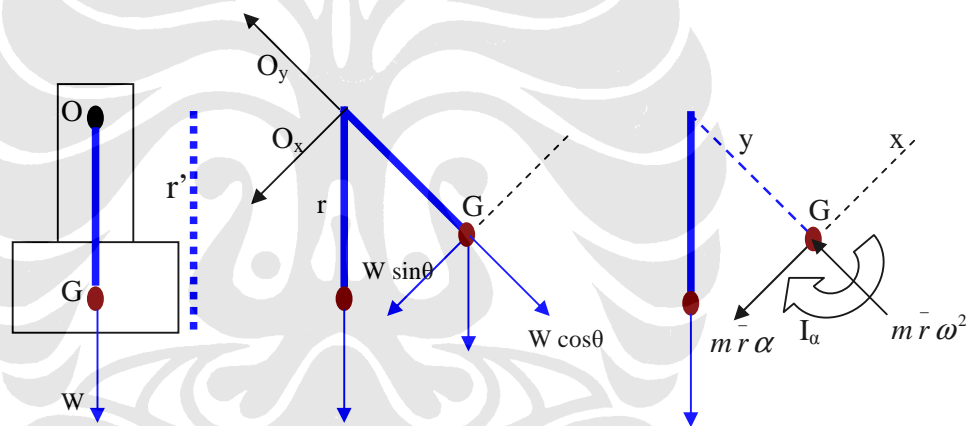


Gambar 4.10 Visualisasi Bed Dari Sumbu Rotasi Sudut 45°

Dengan asumsi massa terpusat pada G dan besarnya sekitar 100 Kg. Maka nilai  $W_N$  dan  $W$  adalah sebagai berikut:

$$W_N = m g = 100 (9,81) = 981 \text{ N} ; W = W_N \cos 45^\circ = 693,67 \text{ N}$$

Saat mesin melakukan perubahan sudut inklinasi maka *bed* tempat meletakkan *workpiece* bergerak berputar sejauh sudut inklinasi yang terjadi. Berputarnya *bed* ini mengikuti sumbu putar motor yaitu pada gambar 4.9 di atas adalah sumbu A. Dengan adanya pergerakan searah sumbu A tersebut maka motor pada sumbu A akan mengalami pembebanan gaya tertentu yang besarnya tergantung dari perubahan sudut inklinasi yang terjadi. Dengan menggunakan asumsi berat  $W$  di atas maka pergerakan *bed* saat membentuk sudut  $45^\circ$  adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Free Body Diagram Bed Dari Sumbu Rotasi Sudut  $45^\circ$

$O_n$  merupakan normal komponen dan didapatkan dari persamaan pada arah  $y$  yang melibatkan akselerasi normal  $\bar{r}\omega^2$ . Kecepatan sudut  $\omega$  dari *bed* dihasilkan dari integral dari percepatan angular.  $O_t$  tergantung dari percepatan tangensial ( $\alpha$ ) yang harus diketahui terlebih dahulu.

Dengan mengabaikan gesekan yang terjadi pada motor, maka persamaam moment pada O adalah:

$$\sum M_o = I_o \alpha \text{ (Meriam Kraige, Dynamics hal 460)}$$

Asumsi  $W = 693,67$  N; dan panjang lengan motor (gambar 4.9) adalah 80 cm  
 jarak O ke G ( $r$ ) =  $80 \sin 45^\circ = 56,56$  cm, dan  $r^2 = 10 + 56,56 = 66,56$  cm

$$\sum M_o = I_o \alpha \quad (\text{Meriam Kraige, Dynamics hal 412})$$

$$m g r \cos \theta = r^2 m$$

$$9,81 (0,5656) \cos \theta = (0,6656)^2 \alpha$$

$$\alpha = 12,52 \cos \theta \text{ rad/s}^2$$

untuk  $\theta = 45^\circ$  ;

$$\omega d\omega = \alpha d\theta$$

Maka;

$$\int_0^\omega \omega d\omega = \int_0^{45} 12,52 \cos \theta d\theta$$

$$\frac{1}{2} \omega^2 \Big|_0^\omega = 12,52 [\sin \theta] \Big|_0^{45}$$

$$\frac{1}{2} \omega^2 = 12,52 \cdot 0,7071$$

$$\omega^2 = 17,71 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2$$

Dengan mengetahui  $\alpha$  dan  $\omega$  maka gaya pada motor O dapat dihitung dengan sebagai berikut:

$$\sum F_y = m r \omega^2$$

$$O_y - W \sin 45 = 100 (0,5656)(17,71)$$

$$O_y - 693,67 \sin 45 = 100 (0,5656)(17,71)$$

$$O_y = 1492,18 \text{ N}$$

$$\sum F_x = m r \alpha$$

$$O_x + W \cos 45 = 100 (0,5656)(12,52) \cos 45$$

$$O_x + 693,67 \cos 45 = 100 (0,5656)(12,52) \cos 45$$

$$O_x = 10,23 \text{ N}$$

Maka total gaya yang bekerja pada motor dengan perubahan sudut  $45^\circ$  adalah sebagai berikut:

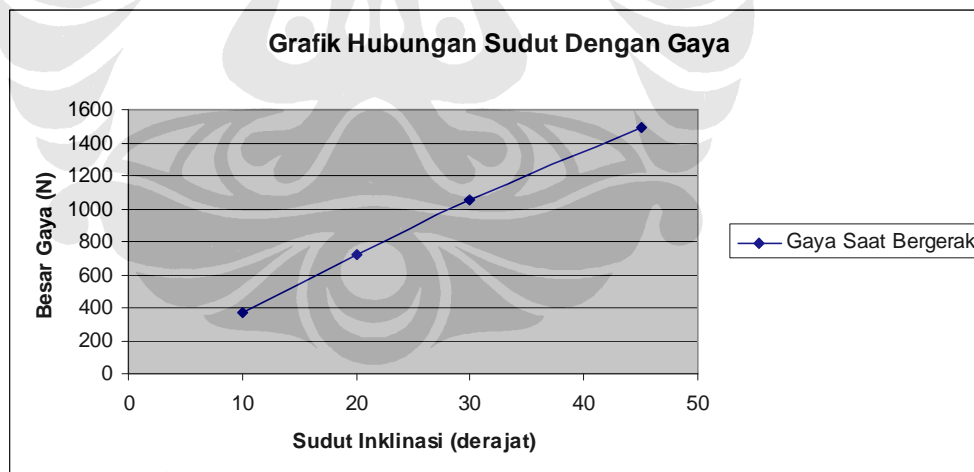
$$\begin{aligned}
 O &= \sqrt{O_y^2 + O_x^2} \\
 &= \sqrt{1492,18^2 + 10,23^2} \\
 &= 1492,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan gaya yang terjadi pada motor O di atas diketahui bahwa besarnya gaya pembebanan pada motor O ketika bed bergerak  $45^\circ$  adalah sebesar 1492,22 N. Dan untuk variasi sudut yang lain dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini

Tabel 4.2 Pengaruh Perubahan Sudut Terhadap Gaya Pada Motor

SUDUT ( $^\circ$ )	$\omega^2$ (rad/s) <sup>2</sup>	$O_x$ (N)	$O_y$ (N)
45	17.70578	10.22551	1491.933
30	12.52	12.5234	1054.966
20	8.56368	13.58919	721.5969
10	4.346944	14.24139	366.2843

Hasil plot distribusi gaya pada tabel 4.2 dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Sudut dengan Gaya

Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi sudut inklinasi yang digunakan pada pemesinan untuk jarak perubahan dan waktu konstan, maka gaya sesaat yang terjadi pada motor saat melakukan pergerakan inklinasi semakin besar. Hal ini sesuai dengan *waviness* yang dihasilkan bahwa semakin besar

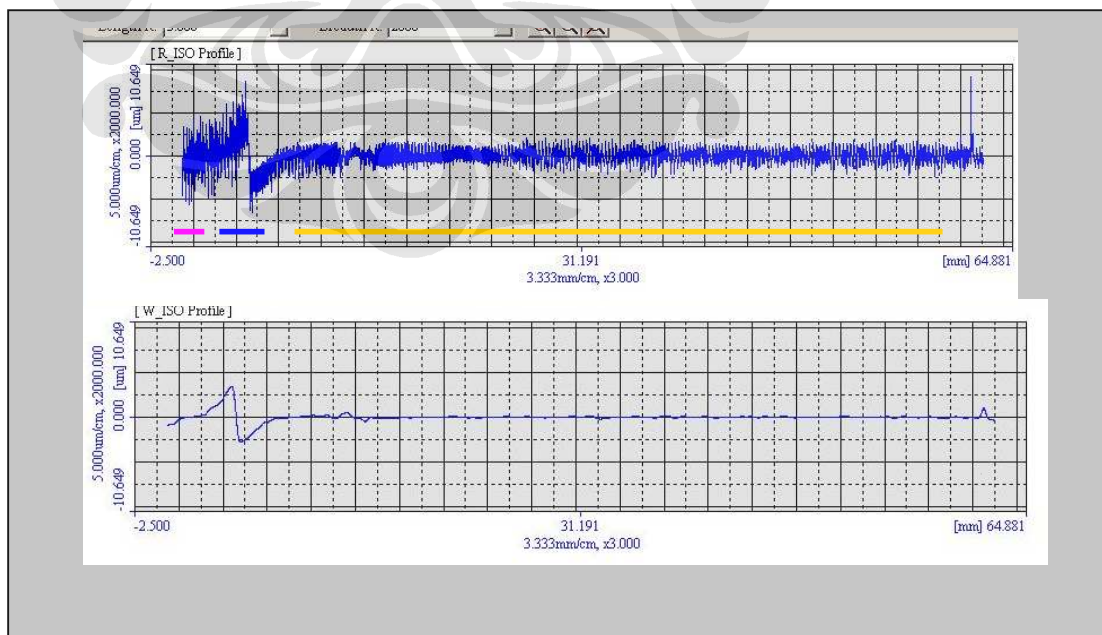
perubahan sudut dengan jarak perubahan yang sama maka nilai *waviness* akan cenderung lebih besar.

#### 4.4 ANALISA GRAFIK HASIL PERCOBAAN

Dari nilai – nilai hasil percobaan pada tabel 4.1 didapatkan grafik hasil pengukurannya yang mempunyai kecenderungan pola seperti gambar 4.3 di atas. Kecenderungan pola ini adalah saat *tool* melakukan pemakanan dengan sudut inklinasi maka nilai kekasarannya (*roughness*) akan lebih besar dibandingkan dengan melakukan pemakanan vertikal (inklinasi  $0^\circ$ ).

Kecenderungan yang kedua adalah saat *tool* melakukan perubahan sudut baik itu dari inklinasi ke vertikal atau sebaliknya dari vertikal ke inklinasi maka akan terbentuk gelombang pada daerah perubahan tersebut. Berikut ini adalah grafik yang terbentuk dari hasil pengukuran pada sampel jarak perubahan 10 mm. Skala yang digunakan untuk menampilkan grafik berbeda, hal ini karena untuk menampilkan amplitudo dari kekasaran yang terjadi menjadi terlihat pada grafik.

1. pola pemakanan *milling* inklinasi – vertikal – inklinasi
  - Sudut  $10^\circ$  jarak perubahan sudut 10 mm

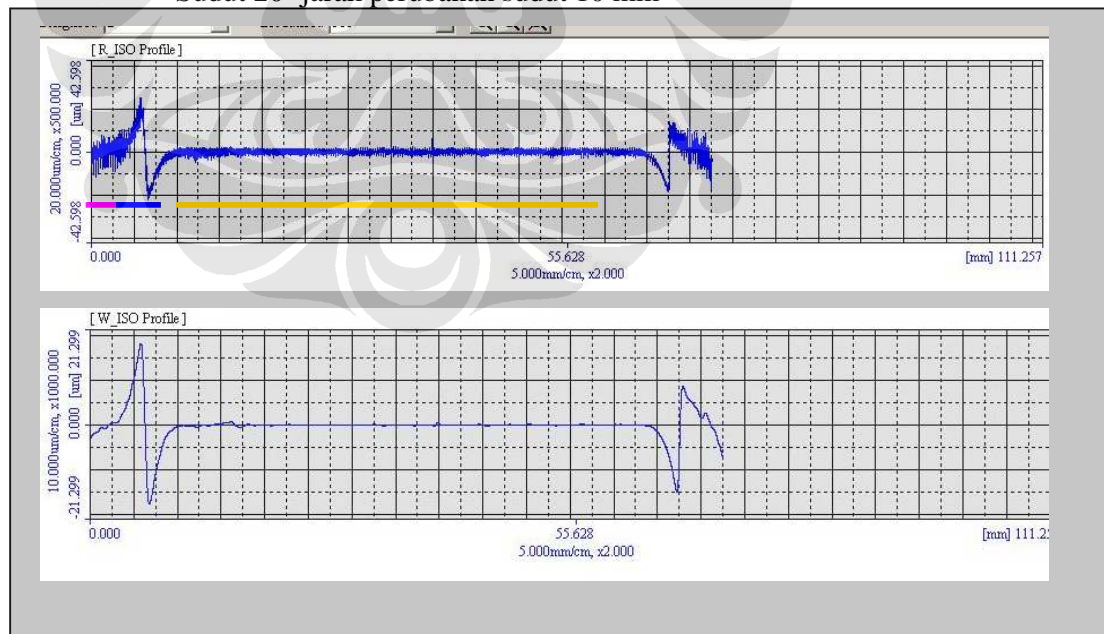


Gambar 4.13 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut  $10^\circ$ - $0^\circ$ - $10^\circ$

Pada gambar grafik 4.13 di atas menunjukkan perbedaan distribusi kekasaran pada pemakanan dengan sudut  $10^\circ$  dan vertikal. Dari gambar terdapat garis merah yang menandakan bahwa *tool* melakukan pemakanan dengan sudut inklinasi dan kuning berarti pemakanan tanpa sudut inklinasi. Sedangkan biru merupakan daerah peralihan pemakanan dari inklinasi ke tanpa inklinasi. Keterangan warna garis ini berlaku untuk gambar 4.13 sampai dengan 4.16.

Gambar 4.13 memperlihatkan adanya gelombang untuk perubahan pola pemakanan dari dengan sudut inklinasi sampai tanpa menggunakan sudut inklinasi. Gambar tersebut juga memperlihatkan perbedaan kekasaran antara daerah pemakanan dengan sudut inklinasi dan juga daerah pemakanan tanpa sudut inklinasi. Kecenderungan perbedaan kekasaran menggambarkan pemakanan dengan inklinasi  $10^\circ$  lebih kasar daripada pemakanan vertikal. Nilai amplitudo kekasaran dengan pemakanan sudut  $10^\circ$  pada grafik sekitar 7  $\mu\text{m}$  dan amplitudo kekasaran untuk pemakanan vertikal adalah sekitar 5  $\mu\text{m}$  dengan skala  $5\mu\text{m}/\text{cm} \times 2000$ . Perbandingan yang terjadi antara sudut  $10^\circ$  dengan vertikal adalah sekitar 2. Nilai amplitudo *waviness* yang terbentuk sekitar 10 $\mu\text{m}$ .

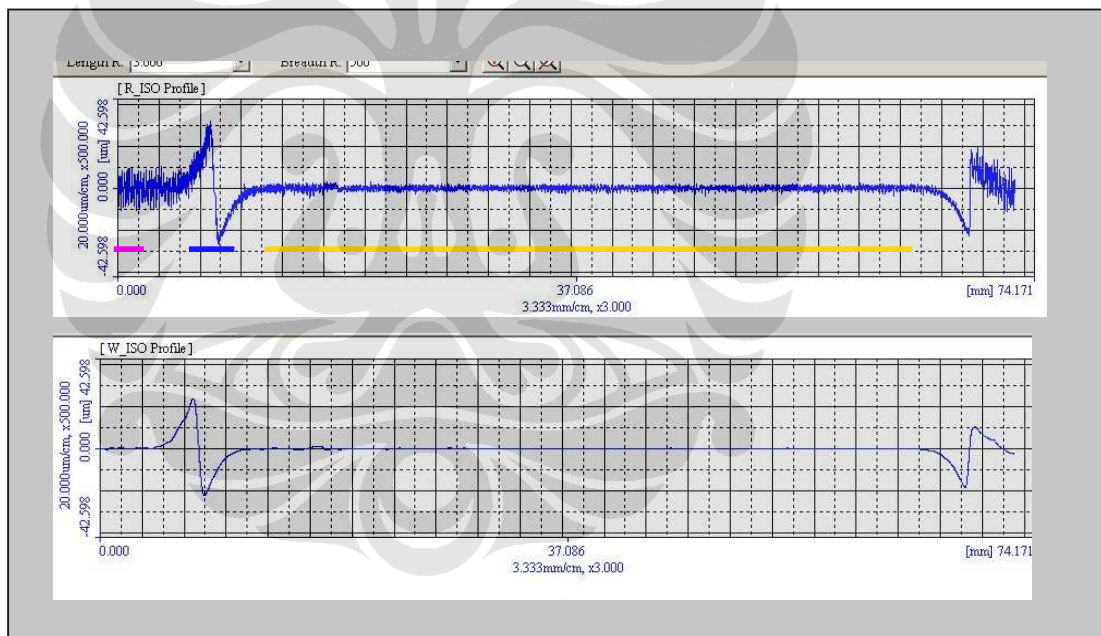
- Sudut  $20^\circ$  jarak perubahan sudut 10 mm



Gambar 4.14 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut  $20^\circ$ - $0^\circ$ - $20^\circ$

Untuk sudut inklinasi  $20^\circ$  dengan pola pemakanan yang sama, didapatkan kecenderungan yang sama yaitu pemakanan dengan sudut inklinasi cenderung lebih kasar daripada pemakanan vertikal. Skala pada sumbu y menunjukkan nilai 20  $\mu\text{m}$  untuk tiap cm. ini berarti grafik pada gambar 4.13 mempunyai nilai yang lebih kecil untuk tiap satu cm (nilai kotak pada gambar 4.13 lebih kecil daripada nilai kotak gambar 4.14). Nilai amplitudo kekasaran dengan pemakanan sudut inklinasi  $20^\circ$  adalah sekitar 18 dan saat vertikal nilainya adalah 7  $\mu\text{m}$  dengan skala 20  $\mu\text{m}/\text{cm} \times 500$ . Perbandingan amplitudo kekasarannya adalah sekitar 2,25. Amplitudo *waviness* yang dihasilkan sekitar 38  $\mu\text{m}$  untuk perubahan vertikal ke miring dan 28  $\mu\text{m}$  untuk perubahan miring ke vertikal dengan skala 10  $\mu\text{m}/\text{cm} \times 1000$ .

- Sudut  $30^\circ$  jarak perubahan sudut 10 mm



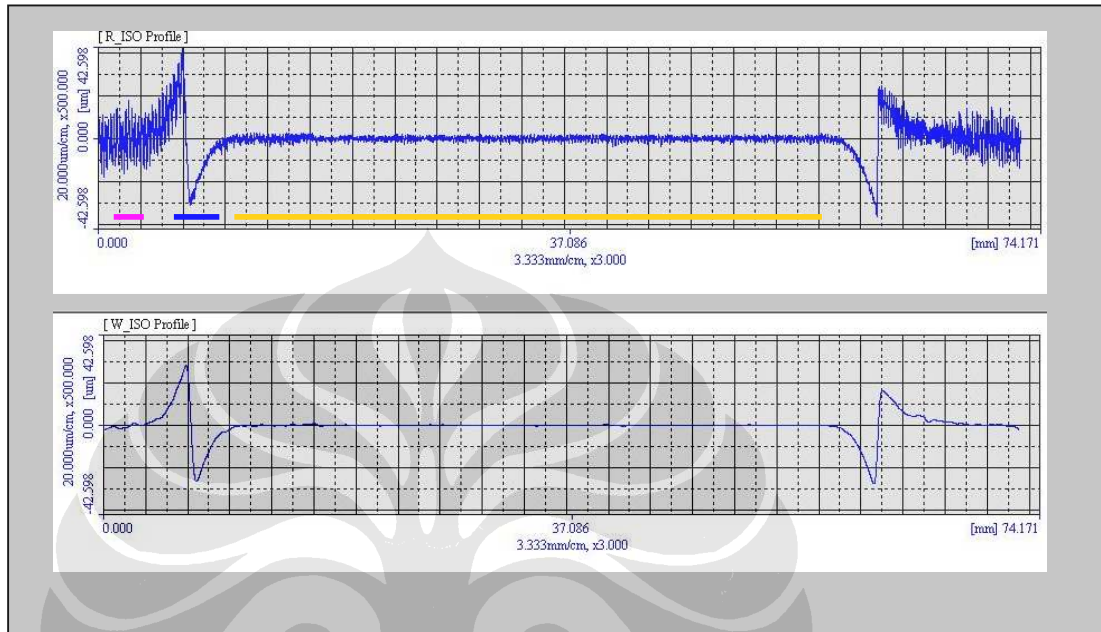
Gambar 4.15 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut  $30^\circ-0^\circ-30^\circ$

Untuk sudut  $30^\circ$  diketahui bahwa pemakanan dengan inklinasi  $30^\circ$  memiliki kekasaran yang lebih kasar daripada pemakanan vertikal. Nilai amplitudo kekasaran yang didapatkan dari gambar grafik adalah sebesar 20  $\mu\text{m}$  untuk  $30^\circ$  dan 6  $\mu\text{m}$  untuk vertikal dengan skala 20  $\mu\text{m}/\text{cm} \times 500$ . Maka perbandingan kekasarannya adalah 3,33. Amplitudo *waviness* yang dihasilkan



sekitar 45 $\mu$ m untuk pola miring ke vertikal dan 30 $\mu$ m untuk pola vertikal ke miring.

- Sudut 45 $^{\circ}$  jarak perubahan sudut 10 mm



Gambar 4.16 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut 45 $^{\circ}$ -0 $^{\circ}$ -45 $^{\circ}$

Untuk sudut 45 $^{\circ}$  kekasaran yang terjadi lebih kasar lagi dari sudut – sudut sebelumnya. Nilai amplitudo kekasaran berdasarkan grafik yang terbentuk adalah 28 $\mu$ m untuk pemakanan dengan sudut inklinasi 45 $^{\circ}$  dan 6 $\mu$ m untuk vertikal dengan skala 20 $\mu$ m/cm x 500. Maka perbandingannya adalah 4,67. Amplitudo *waviness* pada pola miring ke vertikal sekitar 56 $\mu$ m dan 45 $\mu$ m untuk pola vertikal ke miring.

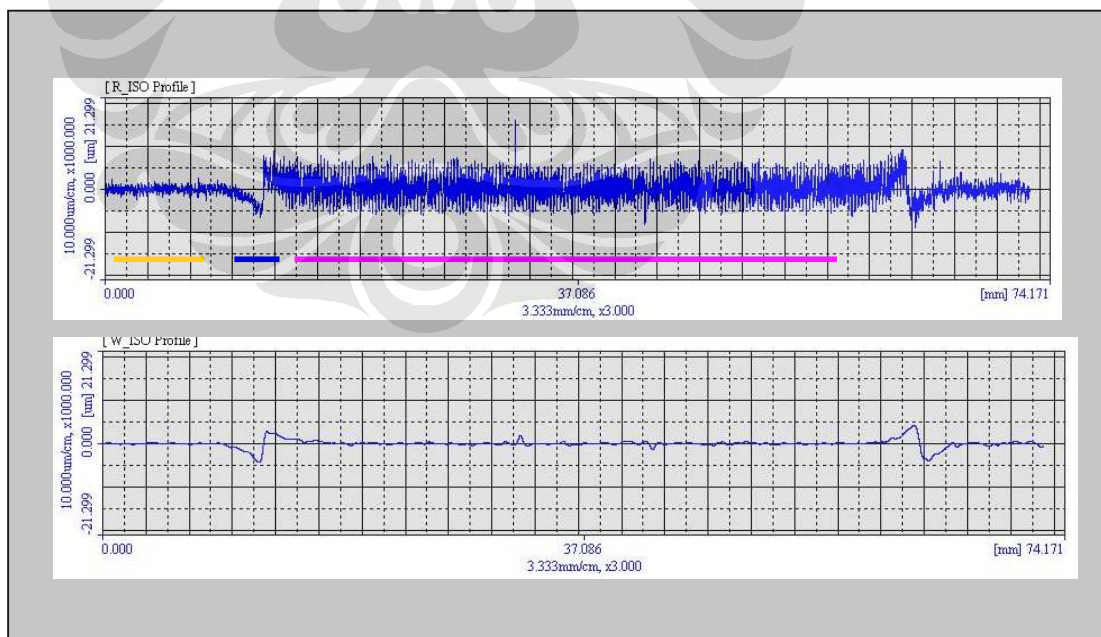
Melihat secara keseluruhan (gambar 4.13 s.d. 4.16) dengan skala yang disesuaikan maka dapat dilihat ada kecenderungan kenaikan kekasaran untuk tiap kenaikan sudut pemakanan. Pola perbandingannya pun juga cenderung naik. Bila melihat *waviness* yang terbentuk pada grafik – grafik di atas maka juga terlihat adanya kenaikan nilai *waviness* terlihat dari perbedaan tinggi *waviness* pada grafik yang terbentuk. Dengan begitu berarti perubahan sudut inklinasi menimbulkan *waviness* pada benda kerja.

Disamping itu, kekasaran juga akan semakin meningkat dengan semakin miring sudut inklinasi dalam pemakanan. Pada pemakanan vertikal nilai kekasarannya relatif sama untuk tiap variasi perubahan nilai sudut inklinasi.

## 2. pola pemakanan *milling* vertikal – inklinasi – vertikal

Untuk pola pemakanan vertikal – inklinasi – vertikal ada 4 sudut inklinasi yang digunakan yaitu  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$ . Untuk mempermudah penjelasan grafik dibagi menjadi 3 daerah. Yang pertama garis kuning menandakan pola pemakanan vertikal, merah pola pemakanan inklinasi, biru menandakan daerah perubahan dari vertikal ke miring. Skala yang dipakai untuk tiap grafik dapat berbeda, hal ini dikarenakan ada perbedaan nilai kekasaran. Maka untuk dapat melihat pola grafik kekasarannya digunakan skala tertentu. Berikut adalah rincian penjelasannya

- Sudut  $10^\circ$  jarak perubahan sudut 10 mm

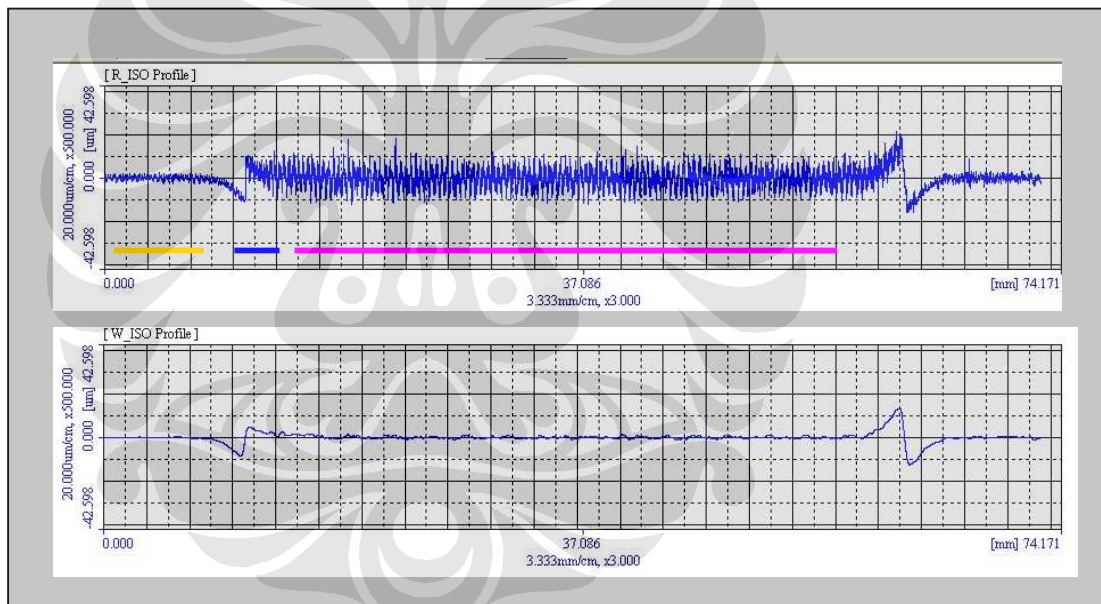


Gambar 4.17 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut  $0^\circ$ - $10^\circ$ - $0^\circ$

Perubahan pola pemakaian dari vertikal ke miring dengan sudut inklinasi  $10^\circ$  menghasilkan kekasaran yang berbeda untuk tiap sudut pemakanan. Dari grafik dapat dilihat pemakanan vertikal mempunyai kekasaran yang lebih kecil daripada pemakanan dengan sudut  $10^\circ$ . Pada daerah perubahan (biru) terjadi amplitudo *waviness* dengan ketinggian sekitar 15 $\mu\text{m}$  (puncak ke lembah).

Nilai amplitudo kekasaran yang terbentuk pada pemakanan vertikal adalah sekitar 4 $\mu\text{m}$ , dan saat inklinasi  $10^\circ$  adalah 12 $\mu\text{m}$ . Nilai ini berdasarkan grafik 4.17 di atas dengan menggunakan skala 10 $\mu\text{m}/\text{cm} \times 1000$ .

- Sudut  $20^\circ$  jarak perubahan sudut 10 mm

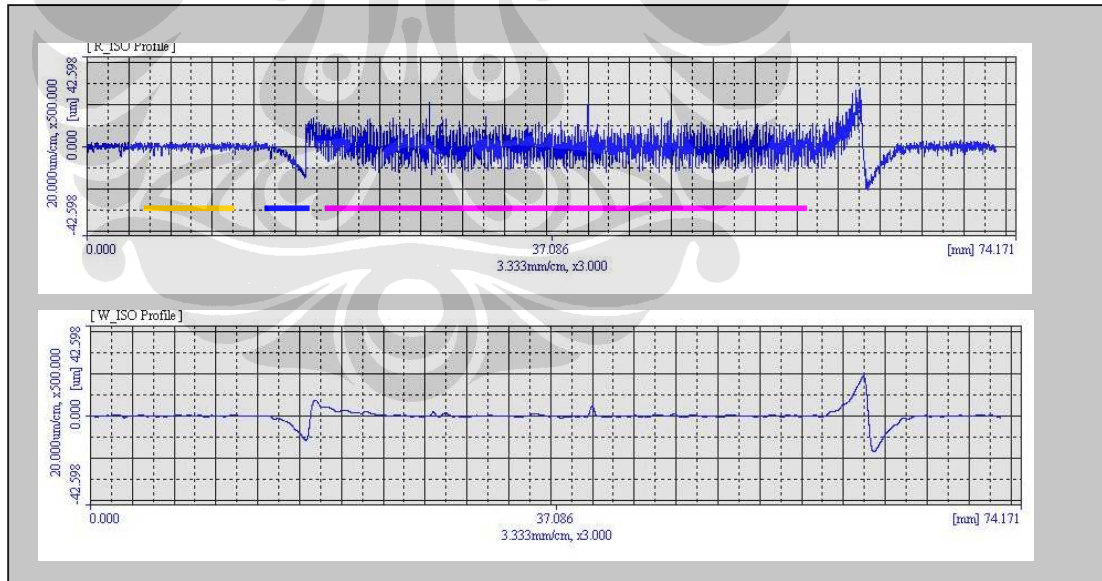


Gambar 4.18 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut  $0^\circ$ - $20^\circ$ - $0^\circ$

Untuk sudut  $20^\circ$  didapatkan tren yang sama yaitu vertikal lebih halus daripada saat inklinasi. Besar amplitudo kekasaran yang terlihat pada grafik adalah sekitar 4 $\mu\text{m}$  untuk vertikal dan 20 $\mu\text{m}$  untuk pemakanan miring. Melihat pada grafik di atas maka amplitudo *waviness* yang terjadi sebesar 18 $\mu\text{m}$  pada vertikal ke miring dan 27 $\mu\text{m}$  pada miring ke vertikal.

Pada daerah perubahan didapatkan *waviness* pada benda. Untuk perubahan dari miring ke vertikal mempunyai nilai *waviness* yang lebih besar ini dikarenakan adanya perbedaan pola pemakanan. Pada perubahan dari vertikal ke miring, *tool* melakukan gerak mundur sebelum melakukan inklinasi sedangkan pada perubahan miring ke vertikal *tool* langsung melakukan manuver inklinasi. Pemakanan awal pada proses perubahan vertikal ke miring dapat mengurangi *waviness* yang terjadi. Ini dikarenakan efek dari pemakanan vertikal yang mempunyai *roughness* yang cenderung kecil, dengan begitu saat melakukan gerak mundur ada perbaikan dari kualitas permukaan. Hal seperti ini terjadi untuk tiap perubahan sudut inklinasi pada gambar grafik berikutnya. Hanya perbedaannya antara vertikal ke miring dan miring ke vertikal semakin besar perbedaan *waviness* yang terjadi. Nilai ini berdasarkan grafik di atas dengan menggunakan skala 20um/cm x 500.

- Sudut 30° jarak perubahan sudut 10 mm

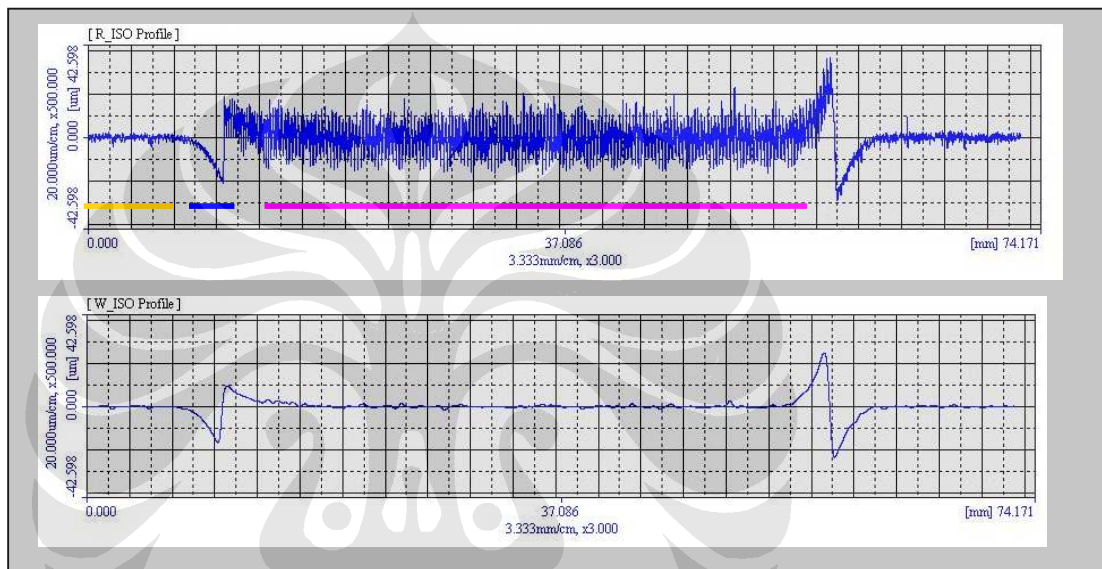


Gambar 4.19 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut 0°-30°-0°

Pada sudut 30° juga terdapat tren yang sama. Pada daerah vertikal memiliki nilai kekasaran yang lebih kecil dari pada daerah pemakanan inklinasi.

Pada daerah vertikal berdasarkan grafik di atas dengan skala 20 $\mu$ m x 500 mempunyai nilai amplitudo kekasaran sekitar 5 $\mu$ m. Sedangkan pada pemakanan dengan sudut inklinasi 30° nilai amplitudo kekasarannya sekitar 23 $\mu$ m. Sedangkan untuk amplitudo gelombang (*waviness*) sekitar 20 $\mu$ m pada perubahan vertikal ke miring dan 38 $\mu$ m untuk perubahan miring ke vertikal.

- Sudut 45° jarak perubahan sudut 10 mm



Gambar 4.20 Grafik Roughness dan Waviness Untuk Perubahan Sudut 0°-45°-0°

Pada sudut 45° juga terjadi tren yang sama yaitu daerah vertikal memiliki nilai kekasaran yang lebih kecil dari pada daerah inklinasi. Dari grafik di atas nilai amplitudo kekasaran pada daerah vertikal sekitar 5 $\mu$ m dan untuk daerah inklinasi sekitar 25 $\mu$ m. Nilai amplitudo *waviness* untuk pola vertikal ke miring sekitar 28 $\mu$ m dan untuk pola miring ke vertikal sekitar 50 $\mu$ m. Nilai ini berdasarkan grafik di atas dengan menggunakan skala 20 $\mu$ m/cm x 500.

Secara keseluruhan data yang dihasilkan pada gambar grafik – grafik di atas adalah sebagai berikut:

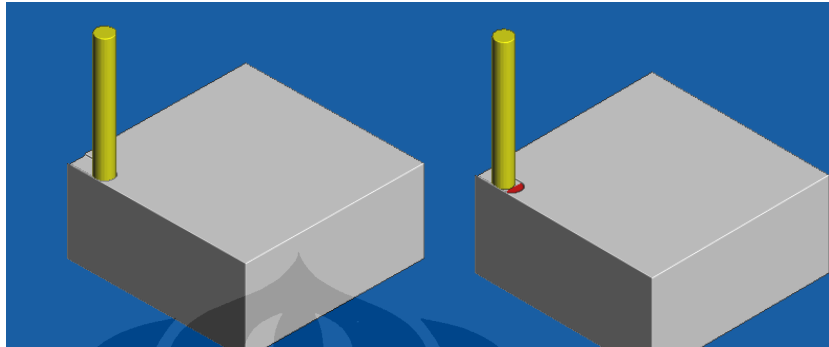
Tabel 4.3 Plot Analisa Grafik Hasil Pengukuran (*dalam um berdasarkan grafik hasil pengukuran*)

POLA PEMAKANAN									
Inklinasi-Vertikal-Inklinasi					Vertikal-Inklinasi-Vertikal				
sudut	roughness		waviness		sudut	roughness		waviness	
	miring	vertikal	Miring-vertikal	Vertikal-miring		vertikal	miring	Vertikal-miring	Miring-vertikal
<b>10</b>	7	5	10	7	<b>10</b>	4	12	15	15
<b>20</b>	18	7	38	28	<b>20</b>	4	20	18	27
<b>30</b>	20	6	45	30	<b>30</b>	5	23	20	38
<b>45</b>	28	6	56	45	<b>45</b>	5	25	28	50

Nilai data pada tabel ini didapatkan berdasarkan gambar dari grafik pada skala yang tertentu dan tidak diolah lebih lanjut. Pengolahan data dari grafik yang didapat dilakukan oleh *software* MITUTOYO S3000 (formtracepak v3.210), dan menghasilkan data Ra dan Wa pada tabel 4.1. Nilai pada tabel 4.3 ini bukan menggambarkan kekasaran rata – rata keseluruhan tetapi menggambarkan pada tiap daerah berdasarkan grafik yang terbentuk.

Dari tabel 4.3 di atas diketahui bahwa pada pemakanan vertikal mempunyai tingkat kekasaran yang sama untuk berbagai jenis pola perubahan sudut *tool*. Sesuai dengan analisa terbentuknya kekasaran bab 4.2 semakin miring sudut pemakanan maka kekasaran yang terbentuk semakin besar. Perubahan miring ke vertikal memiliki kecenderungan kekasaran yang lebih tinggi dari pada pola perubahan vertikal ke miring. Fenomena ini terjadi karena saat *tool* melakukan perubahan sudut inklinasi dari vertikal ke miring *tool* kembali bergerak mundur untuk mengambil persiapan kemiringan inklinasi. Dengan adanya gerak vertikal mundur ini maka kekasaran tiba-tiba yang dapat menyebabkan timbulnya *waviness* akan berkurang sehingga dengan begitu nilai *waviness* pada perubahan vertikal ke miring menjadi lebih kecil. Gerak mundur ini merupakan *safety* dari mesin untuk melindungi *tool* dari *colision*. Sedangkan pada perubahan miring ke vertikal *tool* langsung melakukan perubahan sudut ke vertikal. Pada gambar di bawah ini ada warna merah yang berarti telah dipotong

terlebih dahulu. Dengan demikian maka *tool* melakukan gerak mundur sebelum melakukan perubahan sudut inklinasi.

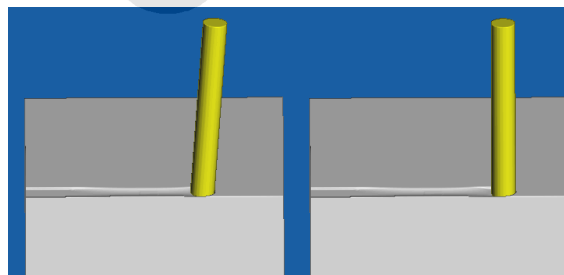


Gambar 4.21 Gerak Mundur Tool Saat Perubahan Sudut Vertikal ke Miring

Tujuan gerak mundur ini adalah menghindari gaya yang besar terhadap *tool*. Dengan adanya gerak mundur maka kontak *tool* dengan benda dapat dikurangi, dengan begitu maka kualitas *tool* akan tetap terjaga. Berikut adalah visualisasinya.



(a)



(b)

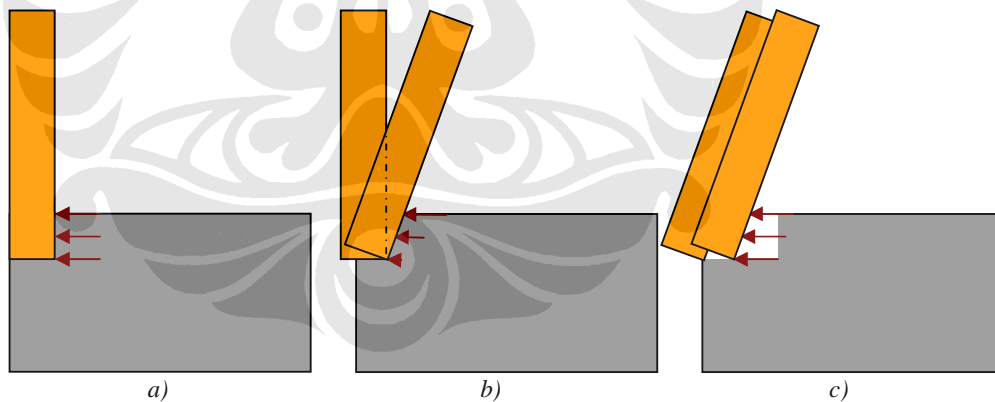
Gambar 4.22 Gerakan Tool Pada Perubahan Sudut, a) Perubahan Dari Vertikal Ke Inklinasi, b) Perubahan Dari Inklinasi Ke Vertikal

Perbedaan pola pergerakan *tool* saat melakukan perubahan vertikal ke miring dan sebaliknya dari miring ke vertikal terkait dengan *tool* yang digunakan. Untuk *tool flatend* gaya pemotongan terkecil terdapat pada ujung sudut *tool*.



Gambar 4.23 Profil Tool Flatend<sup>[12]</sup>

Dari gambar di atas dapat dilihat bagian yang paling tajam dari *tool flatend* adalah bagian ujungnya. Pada pola pemakanan vertikal ujung *tool* dan seluruh  $L_c$  melakukan kontak pemotongan dengan material secara konstan. Dengan begitu gaya yang terjadi terbagi merata disetiap daerah kontak *tool* dengan material yang dibuang. Sedangkan pada pemakanan dengan sudut inklinasi kontak terjadi pada daerah  $L_c$ . Saat *tool* melakukan perubahan dari vertikal ke miring jika tanpa melakukan gerak mundur maka hanya akan terjadi kontak dengan permukaan material pada  $L_c$ . Bagian ujung *tool* tidak bergerak transversal tetapi hanya diam sebagai pivot. Kontak seperti ini akan mempercepat keausan pada *tool*.



Gambar 4.24 Pola Pergerakan Tool Saat Melakukan Pemakanan;  
 a) Pemakanan Vertikal Konstan, b) Tool Melakukan Pivoting,  
 c) Pemakanan Miring Secara Konstan