

## KESAN KADAR SUAPAN DAN SALUTAN BIT PEMOTONG DAN TERHADAP KEKEMASAN PROSES PEMOTONGAN PCB

## EFFECT OF FEED RATE AND CUTTING BIT COATING TOWARDS NEATNESS OF PCB CUTTING PROCESS

### Article history

Received

16 November 2021

Received in revised form

15 June 2022

Accepted

25 July 2022

Published Online

31 October 2022

\*Corresponding author  
maria@ukm.edu.my

Ahmad Syazili Md Din<sup>a,b</sup>, Maria Abu Bakar<sup>b\*</sup>, Fakhrozi Che Ani<sup>a</sup>,  
Mohamad Riduwan<sup>a</sup>, Muhamed Abdul Fatah Muhamed Mukhtar<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Western Digital (SanDisk Storage Malaysia Sdn.Bhd), MK13, Batu  
Kawan, Seberang Perai Selatan, 14100, Penang, Malaysia

<sup>b</sup>Institute of Microengineering and Nanoelectronics, Universiti  
Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

### Graphical abstract



### Abstrak

Kesesuaian teknik pemotongan dan parameter adalah penting dalam menghasilkan papan litar bercetak (PCB) yang sempurna selepas proses pemotongan. Semasa memotong PCB dengan alat pemotong, kecacatan seperti serpihan topeng pateri adalah normal. Oleh itu, adalah penting untuk mengkaji berlakunya kecacatan bagi menentukan parameter seperti kadar suapan dan jenis salutan bit pemotong untuk mendapatkan pemotongan PCB yang terbaik. Pelbagai jenis bit pemotong PCB digunakan untuk memotong PCB bersama-sama dengan kadar suapan yang berbeza. Analisis kuantitatif boleh diterima pakai di atas kawasan kecacatan untuk mewakili tahap kecacatan. Analisis kuantitatif mendapati bahawa bit pemotong WC dan WC/TiN dengan kadar suapan 10 mm/s menghasilkan ketebalan serpihan yang paling minimum sekitar 13  $\mu\text{m}$  dan 15  $\mu\text{m}$ . Manakala bit pemotong WC/TiN dengan kadar suapan 10 mm/s menunjukkan luas kawasan serpihan topeng pateri yang paling rendah iaitu sekitar 1670  $\mu\text{m}^2$ . Semakin tinggi nilai kekemasan yang dinormalisasi, semakin teruk tahap kecacatan. Kadar suapan 10 mm/s dengan bit pemotong PCB bersalut WC/TiN menunjukkan hasil kekemasan pemotongan yang baik dengan penghasilan kecacatan yang paling rendah. Nilai kuantitatif kekemasan boleh digunakan sebagai penentu bagi kualiti kemas PCB yang baik selepas proses pemotongan.

*Kata kunci:* Nyahpanel, pemotongan mekanikal, serpihan topeng pateri, bit pemotong PCB bersalut, pateri

### Abstract

Suitability of cutting technology and cutting parameter is important to produce perfect PCB after cutting process. Defect such as solder mask peel off normally observed during PCB cutting using cutting bit tool. Therefore, it is essential to investigate defect occurrence to obtain suitable cutting parameters such as feed rate and type of cutting bits used to produce good PCB cutting. Different types of PCB cutting bit has been used together with

different feed rate to cut the PCB. Quantitative analysis on the defect area has been adopted to represent the degree of defect. The higher normalized value of neatness, the severe the degree of the defect. Quantitative analysis shows bit cutters of WC and WC/TiN with feed rate of 10 mm/s provide minimum thickness of peel off, approximately about 13  $\mu\text{m}$  and 15  $\mu\text{m}$ . Meanwhile WC/TiN bit cutter with feed rate of 10 mm/s shown lowest solder mask peel off approximately 1670  $\mu\text{m}^2$ . The quantitative value of neatness can be used as a good indicator in accessing the quality of PCB after cutting process.

Keywords: De-paneling, mechanical cutting, solder mask peel off, coated cutting bit PCB, solder

© 2022 Penerbit UTM Press. All rights reserved

## 1.0 PENGENALAN

Pakej elektronik menjadi lebih padat, multifungsi, dan miniatur seiring dengan perkembangan sains dan teknologi [1, 2, 3]. Dalam pakej elektronik, papan litar bercetak (PCB) memainkan peranan untuk menyokong komponen elektronik dengan memberi sambungan elektrik bagi kebolehfungsian litar elektronik [4]. Kerja penyelidikan berkaitan dengan PCB, seperti kesan kemasan permukaan PCB pada kualiti sambungan pateri, pengecilan pic PCB, dan sebagainya telah dilaporkan [5, 6, 7, 8, 9]. Dalam teknologi PCB, biasanya PCB direka bentuk untuk disambungkan melalui tab PCB untuk membentuk kelompok. Kelompok ini dipanggil sebagai panel. Panel tersebut atau PCB yang lebih besar akan dinyahpanel atau dipotong kepada PCB individu dengan mengalih keluar tab PCB [10, 11]. Industri elektronik akan melakukan proses pempanelan PCB bagi menjadikan proses pembuatan produk elektronik yang lebih cekap. Pelbagai kaedah telah digunakan untuk menyahpanel PCB termasuklah kaedah automatik seperti pemotongan dai, calaran bentuk V, pemotongan roda dan pemotongan laser.

Pada masa ini, industri elektronik telah menggunakan proses pemotongan PCB secara automatik yang telah banyak meningkatkan kecekapan hasil PCB [12, 13]. Proses pemotongan PCB adalah diperlukan pada proses akhir dalam pemasangan PCB (PCBA) untuk membolehkan PCBA seterusnya ditukar menjadi produk elektronik. Bentuk pemotongan yang konsisten adalah sangat penting untuk dipadankan dengan produk akhir. Dalam proses pemotongan PCB juga harus mempunyai kekemasan bahagian tepi PCB yang bersih supaya tidak memberikan kesan kepada komponen elektronik yang berhampiran dengan tab PCB. Sekiranya pemotongan yang tidak kemas, isu kualiti akan timbul semasa proses pemotongan, sama ada elektrik atau mekanikal [14]. Hal ini menimbulkan kebimbangan tentang kualiti PCB, seperti kecacatan yang berlaku semasa pemotongan PCB, antaranya seperti gerigis, retak, pengelupasan atau serpihan topeng pateri [15]. Topeng pateri ialah lapisan nipis bahan polimer lapisan nipis yang biasanya berwarna hijau pada permukaan PCB. Topeng pateri ini

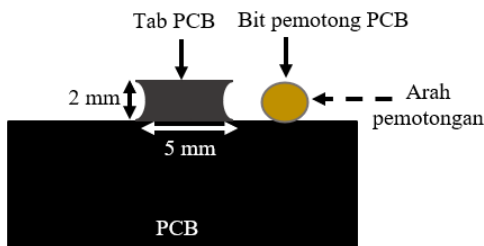
bertindak untuk menghalang pengoksidaan serta menghalang berlakunya titian pateri antara pad-pad kuprum yang boleh mengakibatkan litar pintas. Selain itu, topeng pateri ini memberikan kemampuan pematerian, menghalang pertumbuhan hablur sungut logam, menghentikan kakisan dalam litar asas, menjadi pelindung bagi substrat supaya terhindar dari kesan alam sekitar dan memberikan fleksibiliti dan lekatan yang diperlukan bagi PCB.

Teknologi pemotongan mekanikal telah digunakan secara meluas dalam teknologi pemotongan PCB. Dalam teknologi pemotongan mekanikal, bit pemotong digunakan sebagai alat pemotong. Walaubagaimanapun, kualiti pemotongan adalah sangat bergantung kepada alat pemotong dan parameter pemotongan seperti kadar suapan dan kelajuan pengumpar. Banyak kajian lain berkenaan kadar suapan, jenis salutan bit pemotong, dan parameter lain untuk memotong PCB sudah dijalankan seperti Wang (2022) yang mengkaji prestasi pemotongan PCB dengan menggunakan jenis salutan CrN/AlCrN ke atas pemotongan kasar [16]. Selain itu, Huang (2011) mengkaji tentang pengaruh kelajuan pemotongan, kadar suapan dan diameter bit pemotong terhadap daya tujuhan PCB [17]. Lei et al. [18] pula mengkaji berkenaan cara untuk mengoptimalkan parameter jenis salutan berlian CVD terhadap gerudi mikro di dalam pemotong PCB. Manakala, Zheng (2013) menyiasat mekanisme mata alat haus dan mengoptimalkan mata alat geometri di dalam penggerudian lubang PCB [19]. Teknik pemotongan yang lemah akan mengakibatkan kecacatan yang teruk pada PCB dan melaporkan tentang gabungan kelajuan pengumpar yang cepat dan kadar suapan yang rendah menghasilkan kualiti permukaan yang lebih baik [20]. Kajian ini memfokuskan kepada kewujudan kecacatan atau serpihan salutan pateri yang terhasil pada PCB akibat kesan salutan bit pemotong yang berbeza. Selain itu, kesan parameter proses pemotongan seperti kadar suapan dan pelbagai jenis bit pemotong PCB digunakan untuk memotong PCB dikaji bagi mendapatkan hubungkait diantara bit pemotong dan parameter proses pemotongan bagi mendapatkan hasil kemasan pemotongan yang baik dan parameter yang sesuai dapat ditentukan. Analisis kualitatif dan kuantitatif digunakan untuk

menganalisis kecacatan pada permukaan PCB yang boleh digunakan sebagai penentu bagi untuk mengukur tahap kecacatan.

## 2.0 BAHAN DAN KAEDAH

Substrat PCB yang digunakan dalam kajian ini ialah FR-4 (substrat PCB jenis kalis api). Dimensi PCB ialah 22 mm × 80 mm × 0.8 mm. Terdapat tiga jenis bit pemotong PCB iaitu tungsten karbida (WC) tanpa salutan yang digunakan sebagai bit pemotong kawalan, WC dengan salutan titanium nitrida (WC/TiN), dan WC dengan salutan titanium karbonitrida (WC/TiCN). Jenis salutan bit pemotong dalam kajian ini dipilih berdasarkan ketersediaan pasaran dan biasa digunakan dalam sektor industri elektronik. Jarak pemotongan PCB adalah sebanyak 5 mm untuk memotong tab PCB. Panel PCB yang besar ini dipotong menjadi PCB individu menggunakan mesin RBM GETECH. Proses pemotongan PCB dilakukan secara mendatar dengan menggunakan dua jenis kadar suapan iaitu 10 mm/s dan 20 mm/s. Kelajuan pengumpar ditetapkan pada 40000 rpm dan butiran parameter proses pemotongan PCB ditunjukkan di dalam Jadual 1. Sampel dihalakan pada arah kiri menggunakan putaran pengumpar mengikut arah jam seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.



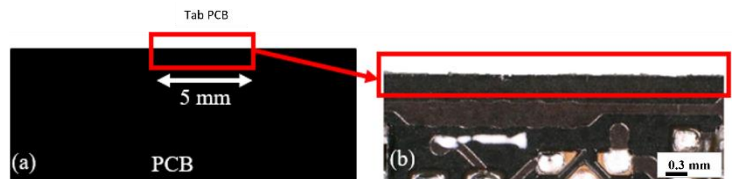
Rajah 1 Pandangan atas bagi kedudukan tab pada PCB, bit pemotong dan arah pemotongan sebelum proses pemotongan PCB

Jadual 1 Tetapan parameter untuk pemotongan PCB

Jenis tetapan	Kelajuan pengumpar (rpm)	Kadar suapan (mm/s)	Jenis salutan bit pemotong
A	40000	10	WC
B	40000	20	WC
C	40000	10	WC/TiN
D	40000	20	WC/TiN
E	40000	10	WC/TiCN
F	40000	20	WC/TiCN

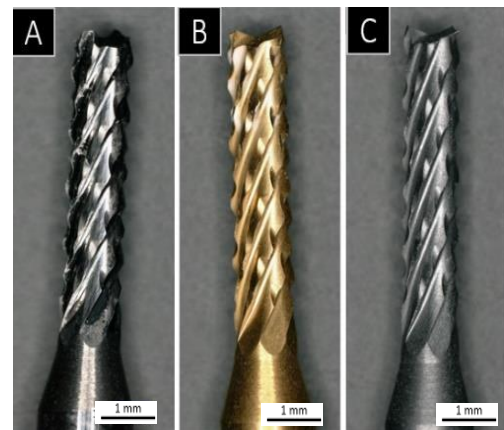
Rajah 2(a) menunjukkan keadaan PCB selepas proses pemotongan manakala Rajah 2(b) menunjukkan cerapan menggunakan mikroskop optik bagi bahagian tab PCB yang dipotong. Jenis bit yang digunakan dicirikan dengan menggunakan alat mikroskop elektron imbasan medan pancaran (FE-

SEM) yang digabungkan dengan keupayaan serakan tenaga sinar-X (EDX). Alat mikroskop optik (Keyence) dengan pembesaran 200 × digunakan untuk mencerap permukaan kawasan sampel yang dipotong (tab PCB) selepas proses pemotongan PCB. Ketebalan serpihan dicerap sebanyak 20 bacaan dengan mengambil bacaan pada kawasan yang mempunyai ketebalan yang rendah (10 bacaan) dan ketebalan yang tinggi (10 bacaan). Luas kawasan serpihan yang dicerap menggunakan mikroskop optik dianalisis menggunakan perisian ImageJ.



Rajah 2 (a) Pandangan atas keadaan selepas proses pemotongan PCB, dan (b) cerapan kawasan tab PCB yang dipotong

Rajah 3 menunjukkan imej bit pemotong dengan salutan yang berbeza. Adalah didapati bahawa warna bit pemotong WC (Rajah 3a) ialah seakan kelabu cerah, manakala bit pemotong WC/TiN (Rajah 3b) berwarna emas dan bit pemotong WC/TiCN (Rajah 3c) berwarna kelabu gelap. Perubahan permukaan kawasan sampel yang dipotong dianalisa secara kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan hubungkait parameter proses pemotongan dengan kekemasan proses pemotongan PCB. Aspek kualitatif akan menilai bentuk rupa kawasan pemotongan dari segi bentuk serpihan PCB. Manakala aspek kuantitatif akan mengukur ketebalan dan luas kawasan serpihan PC.

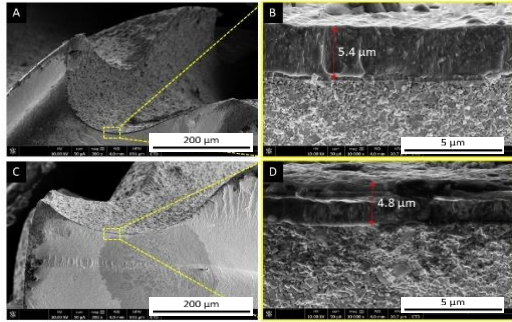


Rajah 3 Imej bagi pemotong bit jenis: (a) WC, (b) WC/TiN dan (c) WC/TiCN

## 3.0 HASIL KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

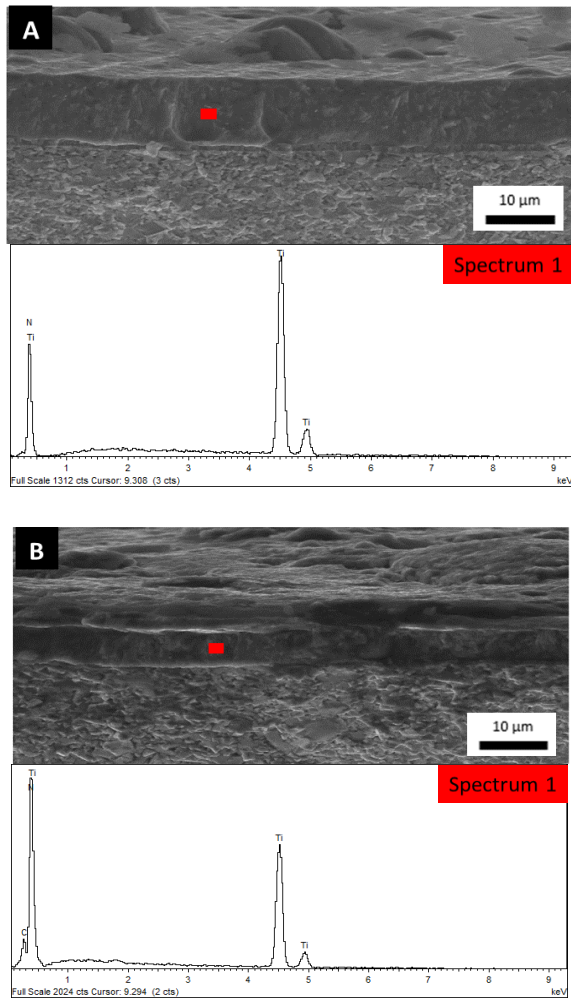
Pencerapan ketebalan salutan bit pemotong menggunakan FESEM ditunjukkan dalam Rajah 4. Adalah didapati ketebalan salutan TiN pada WC

ialah sekitar 5.4 μm, manakala lapisan TiCN pula mempunyai ketebalan sekitar 4.8 μm. Ketebalan ini hampir sama sekitar ~5 μm.



Rajah 4 Pengukuran ketebalan lapisan salutan bit pemotong (a, b): TiN dan (c, d) TiCN

Rajah 5 menunjukkan mikrograf FESEM bersama-sama dengan spektrum EDX bagi kawasan bit pemotong WC/TiN (Rajah 5a) dan WC/TiCN (Rajah 5b).



Rajah 5 Mikrograf FESEM dan spektrum X-Ray (EDX) bagi kawasan bit pemotong (a) WC/TiN dan (b) WC/TiCN

Hasil keputusan cerapan spektrum EDX (Rajah 5) dari segi jenis unsur, peratus atom dan peratus berat ditunjukkan dalam Jadual 2. Keputusan EDX yang mencerap unsur pada kawasan salutan menunjukkan bahawa unsur yang hadir bagi bit pemotong WC/TiN ialah unsur Ti dan N manakala bagi bit pemotong WC/TiCN ialah unsur Ti, C, dan N. Ini adalah selaras dengan jenis salutan WC/TiN dan WC/TiCN. Unsur Ti pada jenis bit pemotong PCB WC/TiN untuk berat dan atom masing-masing mempunyai nilai tertinggi iaitu 84.2% dan 60.8%. Manakala, jenis bit pemotong PCB WC/TiCN hanya berat mempunyai unsur Ti tertinggi iaitu 67.1% [21, 22].

Jadual 2 Kandungan unsur, peratus berat dan peratus atom bagi bit pemotong PCB

Jenis bit pemotong PCB	Unsur	Berat (%)	Atom (%)
WC/TiN	Ti	84.2	60.8
	N	15.8	39.2
WC/TiCN	Ti	67.1	37.0
	C	3.7	8.0
	N	29.2	55.0

Rajah 6 menunjukkan mikrograf paparan atas selepas proses pemotongan. Kotak merah merupakan kawasan cerapan bagi hasil selepas pemotongan PCB. Rajah 6(a) dan Rajah 6(b) ialah hasil pemotongan menggunakan bit pemotong WC (kawalan), Rajah 6(c) dan Rajah 6(d) ialah bagi bit pemotong WC/TiN dan Rajah 6(e) dan Rajah 6(f) ialah bagi bit pemotong WC/TiCN dengan kadar suapan masing-masing iaitu 10 mm/s dan 20 mm/s. Oleh kerana kehadiran tab PCB pada panel PCB, maka proses pemotongan tab PCB dijalankan dengan menggunakan bit pemotong. Walaubagaimanapun, struktur tab PCB adalah tidak sekata. Maka, ketika proses pemotongan PCB, sebahagian kawasan daripada tab PCB mengelupas atau membentuk serpihan. Lebih besar kawasan serpihan memberi petanda bahawa lebih besar kecacatan yang terhasil daripada proses pemotongan PCB. Ini bermakna bahawa sekiranya banyak serpihan yang terhasil, ia memberi kesan pada kualiti PCB yang dipotong. Serpihan topeng pateri merupakan contoh tipikal bagi hasil daripada proses pemotongan PCB.

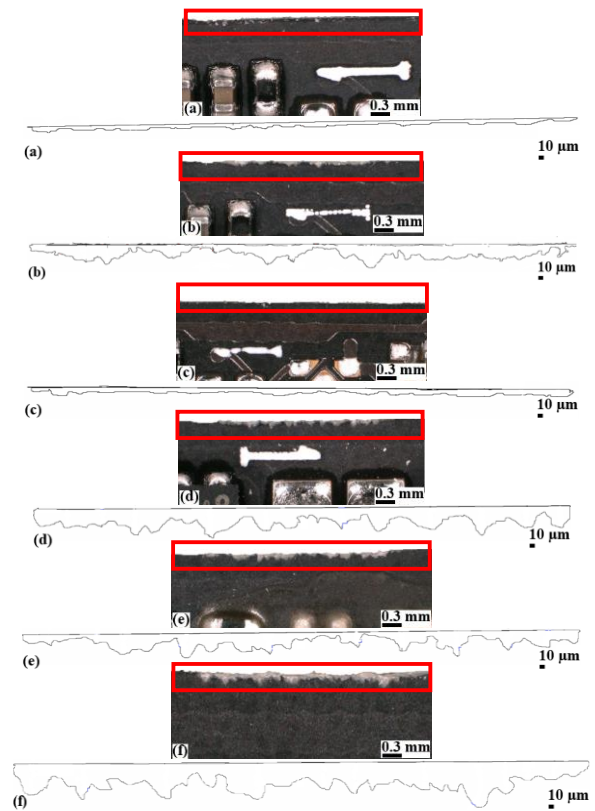
Untuk mengkaji kemas PCB hasil daripada proses pemotongan, analisis kualitatif dengan menganalisa rupa bentuk kecacatan atau serpihan topeng pateri. Hasil keputusan mendapati bahawa rupa bentuk serpihan dengan menggunakan bit pemotong WC iaitu bit pemotong tanpa salutan logam menunjukkan bentuk serpihan yang lebih seragam dan nipis (Rajah 6a) jika dibandingkan dengan bit pemotong WC/TiCN. Bentuk serpihan hasil daripada bit pemotong WC/TiCN dalam Rajah 6(e) dan Rajah 6(f) jelas menunjukkan bentuk seakan berlekuk-lekuk dan bergunung-ganang yang paling besar secara keseluruhannya. Dari segi kesan kadar suapan pula, adalah didapati kadar suapan 10 mm/s

menunjukkan hasil kemasan yang lebih baik berbanding pada kadar suapan 20 mm/s. Ini jelas didapati pada bentuk serpihan bagi bit pemotong WC (Rajah 6(a)) dan WC/TiN (Rajah 6c) yang menunjukkan kawasan serpihan yang paling minima. Bentuk serpihan yang bergunung-ganang adalah sangat tidak bagus kerana serpihan yang tajam begini akan menjadi titik kepada pemerangkapan lembapan yang boleh mendorong kepada berlakunya kakisan dan sebagainya.

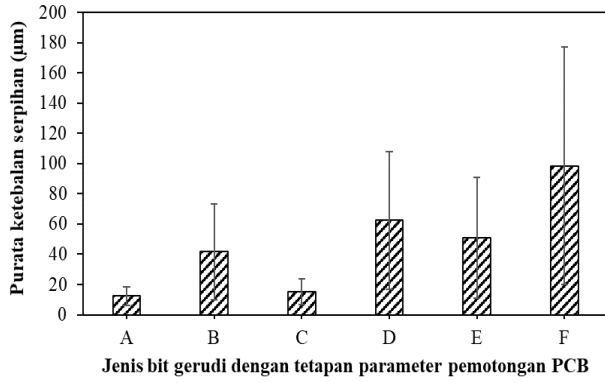
Rajah 7 menunjukkan purata ketebalan serpihan selepas proses pemotongan PCB. Hasil keputusan bagi bit pemotong WC menunjukkan purata ketebalan sekitar 15  $\mu\text{m}$  dan 69  $\mu\text{m}$ , dengan menggunakan kadar suapan 10 mm/s (tetapan parameter A) dan 20 mm/s (tetapan parameter B). Manakala bagi bit pemotong jenis WC/TiN pula, purata ketebalan adalah 23  $\mu\text{m}$  dan 105  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan kadar suapan 10 mm/s (tetapan parameter C) dan 20 mm/s (tetapan parameter D). Nilai ketebalan serpihan tertinggi diperolehi dengan menggunakan bit pemotong WC/TiCN iaitu sebanyak 86  $\mu\text{m}$  dengan kadar suapan 10 mm/s (tetapan parameter E) dan 168  $\mu\text{m}$  dengan kadar suapan 20 mm/s (tetapan parameter F). Didapati bahawa bit pemotong tanpa salutan (WC) dan salutan TiN juga memberi kesan kepada penghasilan serpihan yang paling minima berbanding dengan bit pemotong WC/TiCN. Seterusnya, kadar suapan 10 mm/s (tetapan A, C dan E) telah menunjukkan nilai ketebalan yang lebih rendah berbanding dengan penggunaan kadar suapan yang lebih tinggi, 20 mm/s (tetapan B, D dan F). Tren ini dapat dilihat bagi kesemua jenis bit pemotong dalam kajian ini. Ini menunjukkan bahawa kadar suapan yang lebih rendah telah memberi kesan dalam menghasilkan kemasan permukaan PCB yang lebih baik. Secara keseluruhannya, tetapan parameter F telah menghasilkan serpihan salutan pateri yang paling banyak, 168  $\mu\text{m}$ .

Rajah 8 menunjukkan luas kawasan serpihan salutan pateri dengan tetapan pemotongan yang berbeza. Analisa kuantitatif dari segi ketebalan serpihan adalah tidak memadai untuk menggambarkan keadaan serpihan yang terhasil selepas proses pemotongan PCB. Oleh sebab itu, analisis kuantitatif dengan mencerap luas kawasan serpihan dilakukan. Luas kawasan serpihan yang terhasil ialah 1875  $\mu\text{m}^2$ , 2686  $\mu\text{m}^2$ , 1670  $\mu\text{m}^2$ , 2155  $\mu\text{m}^2$ , 2452  $\mu\text{m}^2$  dan 3613  $\mu\text{m}^2$  bagi tetapan parameter A, B, C, D, E dan F. Hasil daripada analisis luas kawasan mendapati bahawa kadar suapan 10 mm/s (tetapan A, C dan E) menunjukkan luas kawasan serpihan yang lebih rendah berbanding dengan kadar suapan 20 mm/s (tetapan B, D dan F). Kesan kadar suapan bagi luas kawasan serpihan ini adalah selari dengan keputusan ketebalan serpihan yang mana tetapan A dan C telah menghasilkan nilai yang paling rendah secara keseluruhannya. Walaubagaimanapun, jika dilihat dari segi kesan salutan bit pemotong, adalah didapati bahawa bit pemotong WC/TiN telah menunjukkan prestasi pemotongan yang paling baik

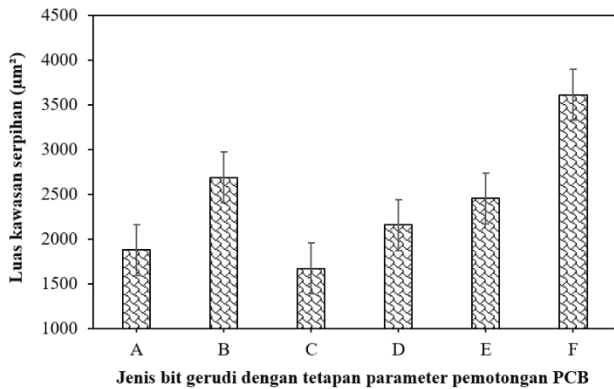
dengan penghasilan luas kawasan serpihan yang paling minima, 1670  $\mu\text{m}^2$ . Hal ini adalah kerana, pencerapan ketebalan serpihan dilakukan secara rawak dengan mengambil bacaan ketebalan pada struktur bahagian yang paling rendah dan paling dalam. Ini boleh dilihat pada sisihan piawai yang sangat besar bagi tetapan F dalam Rajah 7. Ini juga adalah selari dengan analisis kualitatif yang menunjukkan bentuk serpihan yang bergunung-ganang (tetapan F). Analisis kuantitatif ini adalah selari dengan analisis kualitatif yang dapat digunakan untuk menggambarkan prestasi proses pemotongan PCB iaitu kemasan permukaan PCB yang paling licin atau penghasilan serpihan salutan pateri yang paling minimum.



**Rajah 6** Mikrograf pandangan atas selepas proses pemotongan dengan menggunakan jenis tetapan proses pemotongan yang berbeza: (a) WC dengan kadar suapan 10 mm/s, (b) WC dengan kadar suapan 20 mm/s, (c) WC/TiN dengan kadar suapan 10 mm/s, (d) WC/TiN dengan kadar suapan 20 mm/s, (e) WC/TiCN dengan kadar suapan 10 mm/s dan (f) WC/TiCN dengan kadar suapan 20 mm/s



**Rajah 7** Purata ketebalan serpihan bagi penggunaan bit gerudi dengan tetapan parameter pemotongan PCB yang berbeza: (a) WC dengan kadar suapan 10 mm/s, (b) WC dengan kadar suapan 20 mm/s, (c) WC/TiN dengan kadar suapan 10 mm/s, (d) WC/TiN dengan kadar suapan 20 mm/s, (e) WC/TiCN dengan kadar suapan 10 mm/s dan (f) WC/TiCN dengan kadar suapan 20 mm/s



**Rajah 8** Luas kawasan serpihan bagi penggunaan bit gerudi dengan tetapan parameter pemotongan PCB yang berbeza: (a) WC dengan kadar suapan 10 mm/s, (b) WC dengan kadar suapan 20 mm/s, (c) WC/TiN dengan kadar suapan 10 mm/s, (d) WC/TiN dengan kadar suapan 20 mm/s, (e) WC/TiCN dengan kadar suapan 10 mm/s dan (f) WC/TiCN dengan kadar suapan 20 mm/s

Analisis kuantitatif yang seterusnya ialah dengan membuat normalisasi bagi kawasan serpihan berdasarkan keadaan permukaan PCB yang sempurna. Kekemasan permukaan PCB dinormalisasi seperti Persamaan (1):

$$\frac{A_f - A_i}{A_i} \tag{1}$$

yang mana  $A_i$  adalah luas permukaan PCB yang sempurna manakala  $A_f$  adalah kawasan serpihan topeng pateri yang dicerap. Keputusan nilai normalisasi bagi kawasan serpihan ditunjukkan di dalam Jadual 3. Nilai normalisasi serpihan adalah

kecacatan adalah antara 0.13 hingga 1.40. Nilai normalisasi serpihan yang tertinggi ialah 1.4 dengan penggunaan bit pemotong WC/TiCN dengan kadar suapan 20 mm/s. Kadar suapan 10 mm/s dengan salutan WC/TiN menunjukkan nilai paling terendah iaitu 0.13. Semakin tinggi nilai normal, semakin teruk keadaan serpihan yang terhasil. Oleh kerana WC/TiN mempunyai nilai ternormal yang rendah, ini menunjukkan bahawa salutan TiN adalah lebih baik daripada salutan TiCN. Nilai normal yang lebih rendah juga ditunjukkan oleh penggunaan kadar suapan yang lebih rendah dan keputusan ini juga selari dengan keputusan ketebalan dan luas kawasan serpihan.

PCB terdiri daripada kerajang kuprum dan polimer yang diperkuat oleh gentian kaca. Bahan ini merupakan bahan pemesinan keras yang akan mengakibatkan kualiti permukaan yang buruk, alat pemotong menjadi haus dengan cepat, serta boleh menjelaskan ketajaman alat [23]. Ketajaman alat pemotong adalah sangat dipengaruhi oleh lelasan gentian yang terbenam dalam bahan komposit. Ketajaman yang tidak mencukupi akan menyumbang kepada peningkatan daya alat pemotong dan penjanaan haba pada permukaan mesin [24]. Manakala Huang (2021) pula berpendapat bahawa menaikkan kadar suapan dan kelajuan gelendong berkesan untuk mengurangkan kehausan mata alat [25]. Kesan salutan seperti TiN dan TiCN (pemendapan wap fizikal) boleh meningkatkan ketajaman alat pemotong [26]. Sebahagian cendekiawan seperti Lin (2009) pula mendapati bahawa mendeposikan salutan ZrN pada permukaan alat pemotong PCB boleh meningkatkan kualiti pemotongan sambil memanjangkan ketahanan alatan [27]. Sebagai tambahan kepada kesan salutan, kesan kekemasan pada bit pemotongan PCB menyumbang kepada kualiti permukaan PCB selepas proses pemotongan. Serpihan salutan pateri yang tidak diingini akan menjejaskan sifat mekanikal dan kualiti penampilan kerana keadaan permukaan tertentu terkelupas yang boleh membawa kepada kemasukan produk yang tidak diingini. Faktor lain seperti getaran tidak memberi kesan kepada kekemasan yang selari dengan kajian Gomathi (2021) berpendapat bahawa getaran mempunyai kesan negative ke atas ketepatan pemesinan serta kekasaran permukaan yang hanya akan meningkatkan lelasan alat dan mempercepatkan penghapusan kelesuan bahan [28].

**Jadual 3** Nilai nominal kawasan serpihan selepas proses pemotongan PCB dengan menggunakan tetapan parameter yang berbeza

Jenis tetapan	Nilai nominal kawasan serpihan
A	0.20
B	0.73
C	0.13
D	0.46
E	0.60
F	1.40

## 4.0 KESIMPULAN

Keadaan pemotongan seperti jenis bit pemotongan dan kadar suapan boleh memberi kesan kepada kualiti pemotongan PCB. Menurut kajian ini, adalah didapati bahawa kadar suapan yang rendah iaitu 10 mm/s telah menghasilkan kualiti pemotongan PCB yang sangat baik dengan penghasilan ketebalan dan luas kawasan serpihan yang paling rendah secara keseluruhannya. Dengan kadar suapan 10 mm/s, nilai nominal sekitar 0.13-0.60 ditunjukkan berbanding dengan kadar suapan 20 mm/s, sekitar 0.20-1.40. Penggunaan bit pemotong WC dengan salutan TiN telah memberi kesan pada kemas pemotongan yang paling baik berbanding dengan bit pemotong WC dan WC/TiCN. Secara kesimpulannya, kadar suapan proses pemotongan PCB dan salutan pada bit pemotong terutamanya TiN telah menunjukkan kesan yang paling besar dalam menghasilkan kemas permukaan yang paling berkualiti dan boleh diguna pakai di dalam aplikasi industri yang sebenar.

## Penghargaan

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada pihak Western Digital melalui SanDisk Storage Malaysia Sdn. Bhd atas kolaborasi bersama dengan pihak Universiti Kebangsaan Malaysia melalui geran penyelidikan RR-2020-004.

## Rujukan

- [1] Sheikh-Ahmad, J., and Sridhar, G. 2002. Edge Trimming of CFRP Composites with Diamond Coated Tools: Edge Wear and Surface Characteristics. *SAE Technical Paper Series*. DOI: <https://doi.org/10.4271/2002-01-1526>.
- [2] Ani, F. C., Jalar, A., Saad, A. A., Khor, C. Y., Abas, M. A., Bachok, Z., and Othman, N. K. 2019. Characterization of SAC - X Nio Nano-Reinforced Lead-Free Solder Joint in an Ultra-Fine Package Assembly. *Soldering and Surface Mount Technology*. 31(2): 109-124. DOI: <https://doi.org/10.1108/SSMT-08-2018-0024>.
- [3] Ani, F. C., Jalar, A., Saad, A. A., Khor, C. Y., Abas, M. A., Bachok, Z., and Othman, N. K. 2018. The Influence of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano-Reinforced SAC Lead-Free Solder in The Ultra-Fine Electronics Assembly. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 96: 717-733. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1583-z>.
- [4] Ani, F. C., Jalar, A., Saad, A. A., Khor, C. Y., Ismail, R. Abas, M. A., Bachok, Z. and Othman, N. K. 2018. SAC-xTiO<sub>2</sub> Nano-Reinforced Lead-Free Solder Joint Characterizations in Ultra-Fine Package Assembly. *Soldering and Surface Mount Technology*. 31(1): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1108/SSMT-04-2017-0011>.
- [5] Azmi, A. I., Lin, R. J. and Bhattacharyya, D. 2013. Machinability Study of Glass Fibre-Reinforced Polymer Composites During End Milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 64(1-4): 247-261. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4006-6>.
- [6] Bakar, M. A., Jalar, A. and Ismail, R. 2018. Effect of Different Surface Finishes on Micromechanical Properties of Sac 0307 Solder Joint Using Nanoindentation Approach. *Sains Malaysiana*. 47(5): 1011-1016. DOI: <https://doi.org/10.17576/jsm-2018-4705-17>.
- [7] Ciszewska, P., and Sochacki, M. 2020. Processing of Printed Circuit Boards Using A 532 Nm Green Laser. *Opto-Electronics Review*. 28: 197-202. DOI: <https://doi.org/10.24425/opelre.2020.135258>.
- [8] Darus, M. H. B. M., Aziz, M. H. B. A., Ong, N. R., Alcain, J. B. and Retnasamy, V. 2017. PCBA Depaneling Stress Minimization Study. *AIP Conference Proceedings*. 1885: 020296. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5002490>.
- [9] Fung, V. W. C., and Yung, K. C. 2020. An Intelligent Approach for Improving Printed Circuit Board Assembly Process Performance in Smart Manufacturing. *International Journal of Engineering Business Management*. 12: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1177/1847979020946189>.
- [10] Gong, F. Chen, B. Q., and Li, J. B. 2012. Experimental Study on PCB Micro Drilling Force. *Applied Mechanics and Materials*. 246-247: 1017-1021. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.246-247.1017>.
- [11] Jalar, A., Bakar, M. A., and Ismail, R. 2020. Temperature Dependence of Elastic-Plastic Properties of Fine-Pitch SAC 0307 Solder Joint Using Nanoindentation Approach. *Metallurgical and Materials Transactions: Physical Metallurgy and Materials Science*. A. 51: 1221-1228. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-019-05614-1>.
- [12] Khan, J., Momin S. A., and Mariatti, M. 2020. A Review on Advanced Carbon-Based Thermal Interface Materials for Electronic Devices. *Carbon*. 168: 65-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.012>.
- [13] Kopač, J. 1998. Influence of Cutting Material and Coating on Tool Quality and Tool Life. *Journal of Materials Processing Technology*. 78(1-3): 95-103. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00469-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00469-X).
- [14] Li, J., Dai, J., and Johnson, C. M. 2018. Comparison of Power Cycling Reliability of Flexible PCB Interconnect Smaller/Thinner and Larger/Thicker Power Devices with Topside Sn-3.5Ag solder joints. *Microelectronics Reliability*. 84: 55-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.03.013>.
- [15] Li, W., Breier, M., and Aach, T. 2012. Vision-Based Auto-Teaching for Automated PCB Depaneling. *IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics*. 910-915. DOI: <https://doi.org/10.1109/INDIN.2012.6300919>.
- [16] Wang, R., Yang, H., Guo, Z., Wei, S., and Lin, R. 2022. Study On the Cutting Performance of CRN/AICrN-Coated Carbide PCB Milling Cutter. *Coatings*. 12(5): 556. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12050556>.
- [17] Huang, L. X., Wang, C. Y., Yang, L. P., Zheng, L. J., and Song, Y. X. 2011. Cutting Forces of PCB Supported Hole. *Advanced Materials Research*. 188: 435-440. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.188.435>.
- [18] Lei, X. L., He, Y., and Sun, F. H. 2016. Optimization of CVD Diamond Coating Type on Micro Drills in PCB Machining. *Surface Review and Letters*. 23(02): 1550108. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218625x15501085>.
- [19] Zheng, X., Dong, D., Huang, L., Wang, X., and Chen, M. 2013. Investigation of Tool Wear Mechanism and Tool Geometry Optimization in Drilling of PCB Fixture Hole. *Circuit World*. 39(4): 195-203. DOI: <https://doi.org/10.1108/cw-06-2013-0021>.
- [20] Shi, H., Liu, X., and Lou, Y. 2019. Materials and Micro Drilling of High Frequency and High Speed Printed Circuit Board: A Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 100(1-4): 827-841. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2711-5>.
- [21] Masooth, P. H. S., and Jayakumar, V. 2020. Experimental Investigation on Surface Finish of Drilled Hole by TiAlN, TiN, AlCrN Coated HSS Drill Under Dry Conditions. *Materials Today: Proceedings*. 22: 315-321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.293>.
- [22] Talib, R. J., Firdaus, S. M., Ismail, N. I., Basri, M. H., and Ariff, H. M. 2015. Wear Mechanism of TiCN and TiAlN Coated Drill

- in Drilling of Carbon Steel. *Jurnal Teknologi*. 76(9). DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5638>.
- [23] Wang, S., Yao, Y., and Long, X. 2019. Critical Review of Size Effects on Microstructure and Mechanical Properties of Solder Joints for Electronic Packaging. *Applied Sciences*. 9(2): 227. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9020227>.
- [24] Wang, Y., Zou, B., and Yin, G. 2019. Wear Mechanisms of Ti(C7N3)-based Cermet Micro-Drill and Machining Quality During Ultra-High Speed Micro-Drilling Multi-Layered PCB Consisting of Copper Foil and Glass Fiber Reinforced Plastics. *Ceramics International*. 45(18): 24578-24593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.187>.
- [25] Huang, X., Wang, C., Yang, T., He, Y., Li, Y., and Zheng, L. 2021. Wear Characteristics of Micro-Drill During Ultra-High Speed Drilling Multi-Layer PCB Consisting of Copper Foil and Ceramic Particle Filled GFRPs. *Procedia CIRP*. 101: 326-329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.10.007>.
- [26] Zhang, P., Xue, S., and Wang, J. 2020. New Challenges of Miniaturization of Electronic Devices: Electromigration and Thermomigration in Lead-Free Solder Joints. *Materials and Design*. 192: 108726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108726>.
- [27] Lin, Z. C., and Ho, C. Y. 2009. Performance of Coated Tungsten Carbide Tools on Milling Printed Circuit Board. *Journal of Materials Processing Technology*. 209(1): 303-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.054>.
- [28] Gomathi, K., and Balaji, A. 2021. Tool Condition Monitoring of PCB Milling Machine Based on Vibration Analysis. *Materials Today: Proceedings*. 45: 3386-3397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.778>.