

## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1.1. Teknologi Produksi Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram

#### 5.1.1. Peralatan produksi (kompaktor) komposit kanvas rem cakram

Luaran yang ditargetkan pada peneitian Tahun 1 ini yaitu menghasilkan pelat komposit dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit berbagai jenis dapat diperoleh. Pada Tahun 1 juga dibangun beberapa fasilitas pembuatan pelat komposit dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit dan bahan lainnya sebagai bahan baku kanvas rem cakram.

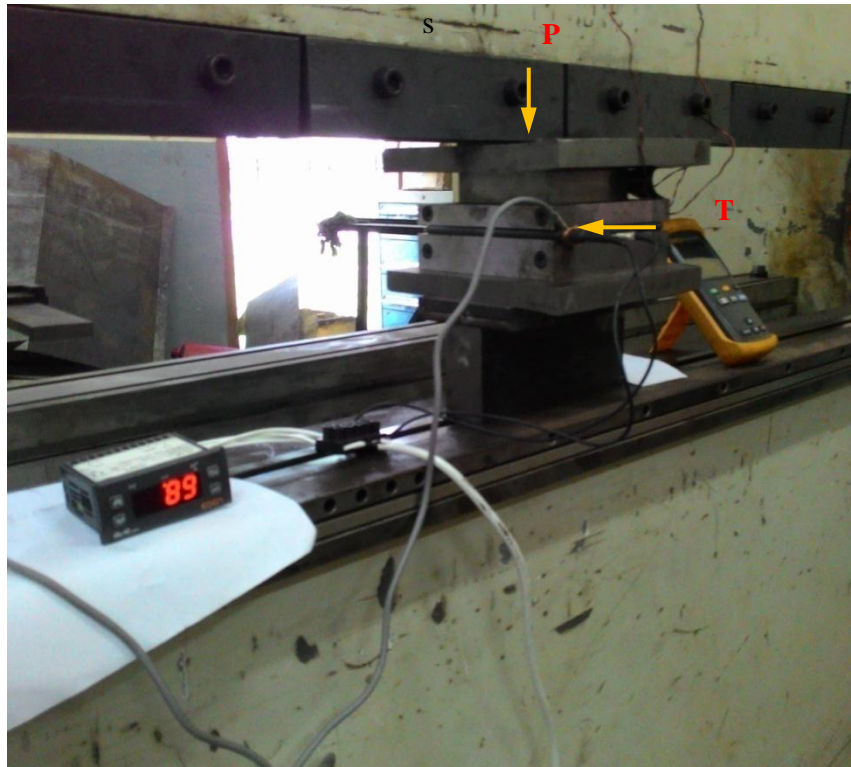
Kompaktor bahan komposit untuk pembuatan pelat komposit kanvas rem dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit telah dihasilkan dari penelitian 1, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.1. Peralatan ini dilengkapi dengan elemen pemanas (*heater*) untuk proses *sintering*.



Gambar 5.1. Kompaktor Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram

Pada saat pengoperasian kompaktor dipasang pada mesin *bending*. Mesin *bending* akan memberikan tekanan terhadap kompaktor. Proses kompaksi dan *sintering* menggunakan kompaktor ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Selain bentuk pelat, kompaktor juga dibuat untuk menghasilkan spesimen silinderis. Cetakan ini memiliki rongga berbentuk silinderis dengan diameter lubang 10,5 mm dan kedalaman lubang 80 mm. Cetakan ini ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.2. Kompaktor Dipasang pada Mesin *Bending*



a. *punch*

b. *dies*



b. landasan

Gambar 5.3. Cetakan Bentuk Silinderis

Pelat komposit kanvas rem cakram dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit dipersiapkan sebagai spesimen uji tekan, uji keausan, dan pengamatan struktur mikro (SEM). Bahan-bahan penyusun pelat komposit kanvas rem cakram terdiri atas:

1. *Phenolic resin*
2. Serbuk baja
3. Serbuk grafit
4. Serbuk alumina
5. *Palm ash*.

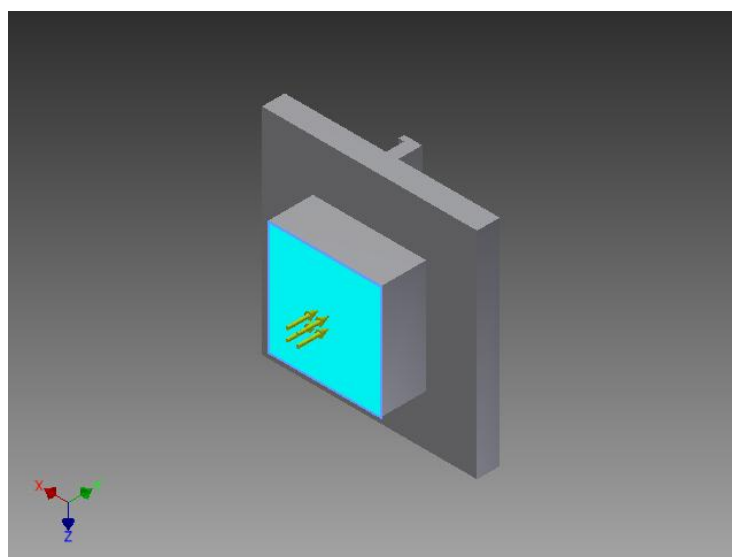
Kelima bahan tersebut disiapkan dalam enam (6) variasi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.1, yaitu: variasi serbuk baja, serbuk grafit, serbuk alumina, dan *palm ash*.

Tabel 5.1. Variasi Komposisi Bahan Penyusun Pelat Komposit Kanvas Rem

Bahan	Komposisi (% wt), gram					
	1	2	3	4	5	6
<i>Phenolic resin</i>	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
Serbuk baja	312,0	156,0	156,0	234,0	156,0	156,0
Serbuk grafit	22,0	66,0	22,0	22,0	44,0	22,0
Serbuk alumina	40,0	40,0	120,0	40,0	40,0	80,0
<i>Palm ash</i>	44,0	44,0	44,0	66,0	66,0	66,0

#### 1.1.2. Analisis tegangan pada kompaktor

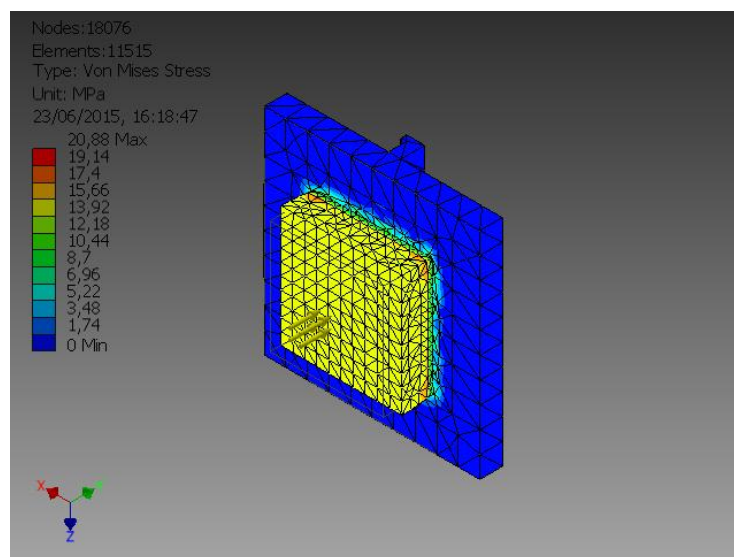
Analisis tegangan kompaktor kanvas rem cakram telah dilakukan simulasi komputer berbasis elemen hingga.



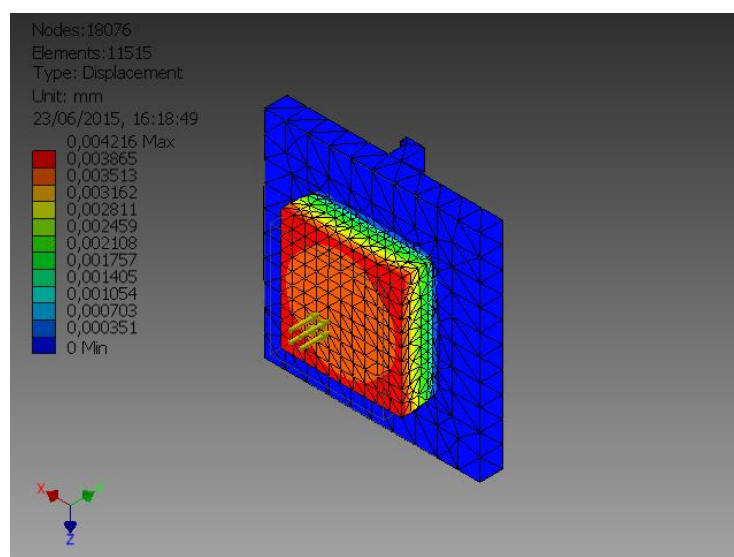
Gambar 5.4. Pemodelan Kompaktor

Analisis tegangan terhadap kompaktor menggunakan *software* Autodesk Inventor 2012. Pemodelan kompaktor ditunjukkan pada Gambar 5.4. Model kompaktor dibuat sesuai dengan desain konstruksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Bagian-bagian kompaktor yang dimodelkan antara lain: kedudukan mesin *bending* bagian atas, bantalan penekan cetakan, dan penekan cetakan.

Distribusi tegangan terhadap kompaktor, *jigs and fixtures* ditunjukkan pada Gambar 5.5. Tegangan maksimum diketahui 20,88 MPa terdapat di lokasi antara bagian penekan dan bantalan cetakan. Konsentrasi tegangan terdapat di lokasi antara penekan dan bantalan cetakan. Tegangan terdistribusi merata di bagian penekan sebesar 13,92 MPa, sedangkan di bantalan cetakan 1,74 MPa.



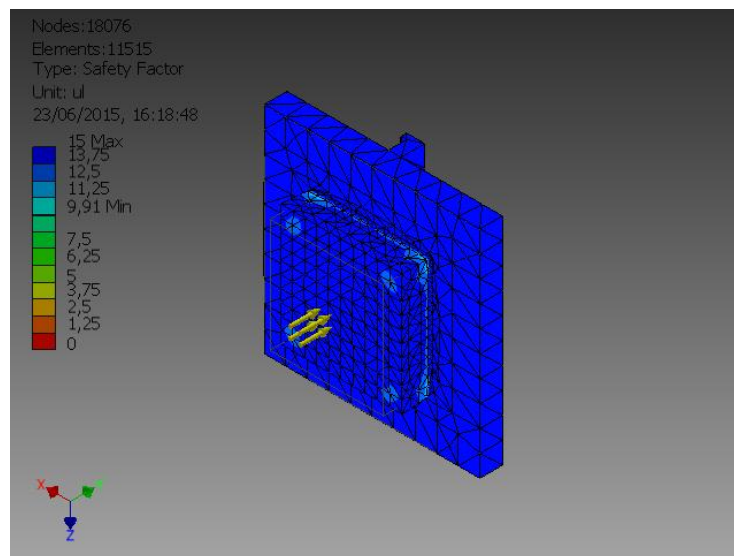
Gambar 5.5. Distribusi Tegangan Von Mises terhadap Kompaktor Komposit



Gambar 5.6. Displacement Kompaktor Komposit

*Displacement* penekan dan bagian penekan kompaktor diperlihatkan pada Gambar 5.6. Bagian penekan yang berkontak dengan bahan mengalami *displacement* 0,004216 mm merata di seluruh permukaannya. Simulasi komputer menunjukkan bahwa kompaktor menghasilkan beban penekanan (kompaksi) yang merata terhadap bahan.

Kompaktor aman digunakan berdasarkan simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.7. Faktor keamanan kompaktor yang telah didesain yaitu 15, faktor keamanan di lokasi konsentrasi tegangan lebih rendah yaitu 9,91.



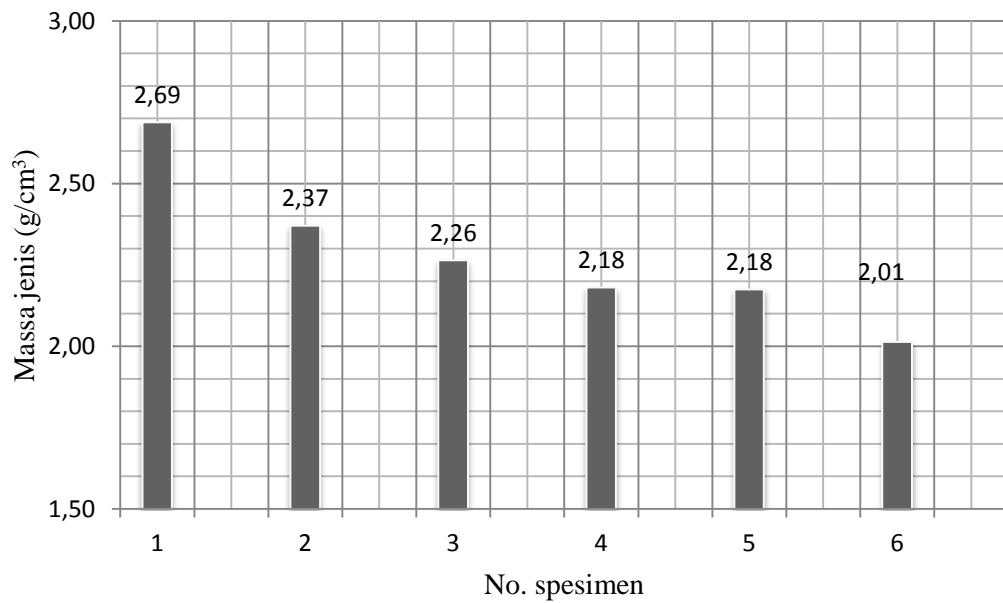
Gambar 5.7. Faktor Keamanan Kompaktor Komposit

## 1.2. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram

### 5.2.1. Massa jenis komposit kanvas rem cakram

Massa jenis komposit kanvas rem dengan pengisi terak limbah tandan ksoong kelapa sawit dengan berbagai variasi komposisi bahan penyusun merupakan salah satu informasi penting yang dibutuhkan untuk menentukan variasi komposisi mana yang paling sesuai untuk pembuatan kanvas rem cakram sepeda motor. Disamping itu dalam desain dan analisis kanvas rem cakram (rencana penelitian Tahun 2), parameter massa jenis juga diperlukan sebagai *input data*. Massa jenis komposit kanvas rem pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit diperoleh dengan cara mengukur besarnya massa terhadap volume spesimen. Gambar 5.8 menunjukkan massa jenis dengan beberapa variasi bahan penyusun kanvas rem cakram pada tekanan 60 ton kompaksi. Massa jenis komposit kanvas rem dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit dengan komposisi sebuk baja tertinggi memiliki massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang lain.





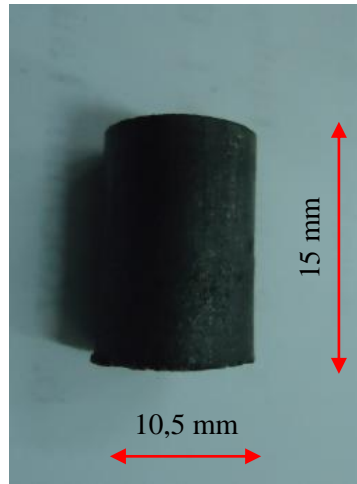
No. Spesimen	Fraksi volume bahan (% vol.)				
	<i>Phenolic resin</i>	Serbuk baja	Grafit	Alumina	<i>Palm ash</i>
1	20	40	10	10	20
2	20	20	30	10	20
3	20	20	10	30	20
4	20	30	10	10	30
5	20	20	20	10	30
6	20	20	10	20	30

Gambar 5.8. Massa Jenis Komposit dengan Variasi Komposisi Bahan Penyusun

Gambar 5.8 merupakan hasil pengukuran massa jenis berdasarkan variasi bahan pendukung. Menurut SAE J661 massa jenis kanvas rem komposit yaitu 1,5 s.d. 2,4 g/cm<sup>3</sup>. Komposit kanvas rem Komposisi 1 memiliki massa jenis yang melebihi persyaratan SAE J661. Namun, dalam laporan ini belum dapat ditetapkan jenis variasi yang terbaik digunakan untuk bahan pembuatan kanvas rem cakram, karena peneliti perlu mempertimbangkan aspek lain, yaitu kekuatan tekan, laju keausan (abrasif) dan kualitas kompaksi yang dihasilkan.

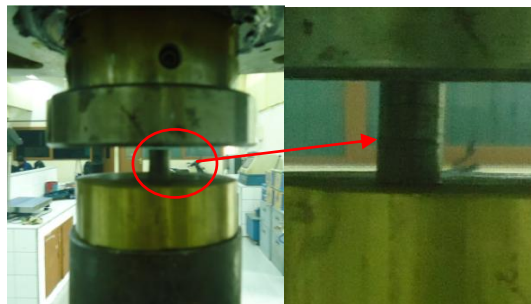
#### 5.2.2. Kekuatan tekan komposit kanvas rem cakram

Pengujian tekan dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM). Penampang spesimen berbentuk lingkaran dengan luas 86,6 mm<sup>2</sup> atau diameter 10,5 mm dengan tinggi 15 mm. Spesimen uji tekan diperlihatkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Spesimen Uji Tekan

Spesimen diletakkan pada dudukan di UTM (Gambar 5.10) dan selanjutnya dilakukan pengujian tekan hingga spesimen rusak. Ketika mesin/alat uji bekerja kurva pengujian ditunjukkan pada monitor alat uji yang menunjukkan gaya dan perubahan panjang yang dialami oleh spesimen hingga rusak.

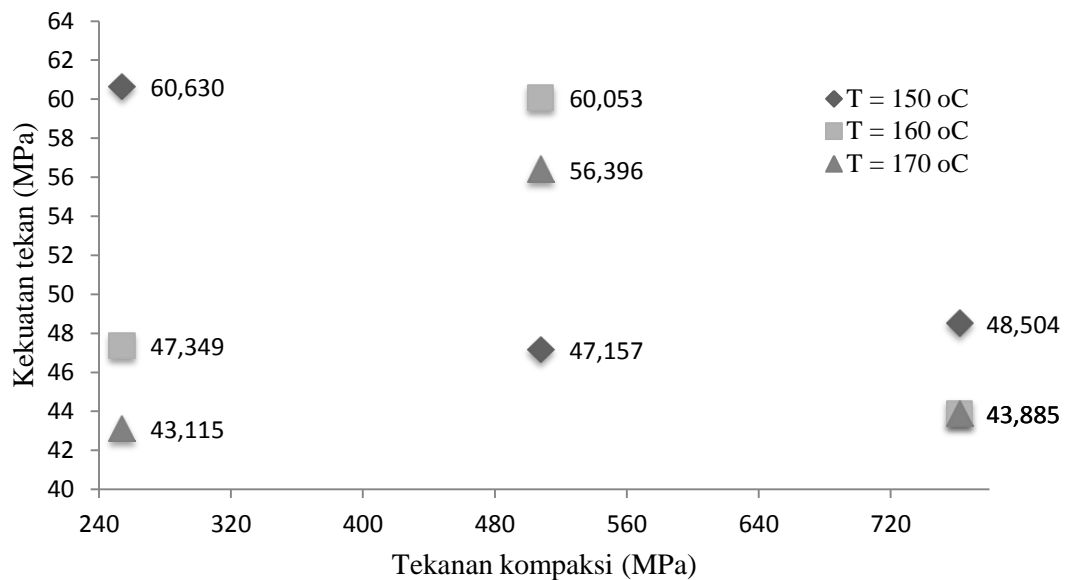


Gambar 5.10. Spesimen yang Diletakkan pada UTM

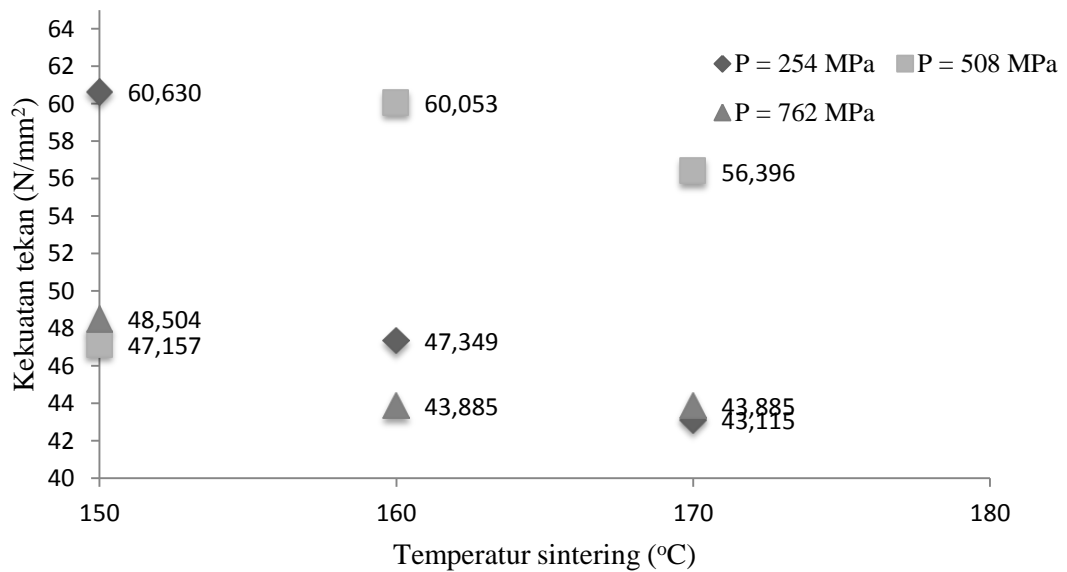
Dari pengujian tekan yang telah dilakukan dapat diperoleh kurva yang menunjukkan pengaruh tekanan kompaksi awal terhadap kekuatan tekan, pengaruh temperatur *sintering* terhadap kekuatan tekan yang ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan 5.12.

Kompaksi pada proses metalurgi serbuk bertujuan untuk memadatkan bahan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pada saat kompaksi partikel material menjadi semakin rapat dan saling mengikat. Kurva yang disajikan pada Gambar 5.11 menunjukkan bahwa kekuatan tekan komposit kanvas rempaling tinggi pada tekanan kompaksi 254MPa (60 ton) pada temperatur *sintering* 150°C. Kekuatan tekan spesimen meningkat pada tekanan kompaksi 254 MPa hingga 508 MPa dengan temperatur *sintering* 160 dan 170°C, dan menurun pada tekanan kompaksi 762 MPa

Penurunan kekuatan tekan spesimen ketika tekanan kompaksi ditingkatkan dapat disebabkan oleh tekanan kompaksi yang diberikan lebih besar dari nilai tekanan kompaksi untuk material serbuk penyusun komposit kanvas rem tersebut. Ketika tekanan kompaksi yang diberikan melebihi tekanan kompaksi serbuk maka tidak akan berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan spesimen.

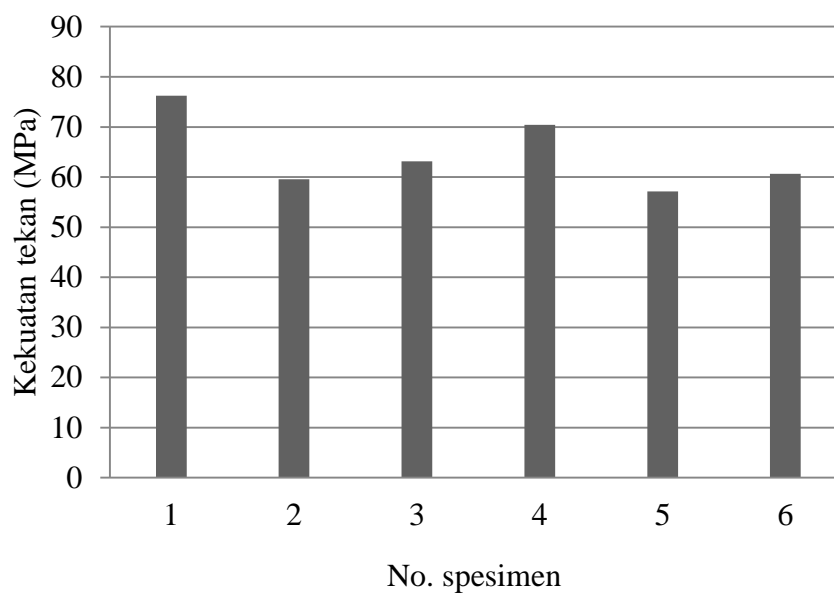


Gambar 5.11. Pengaruh Beban Kompaksi terhadap Kekuatan Tekan dengan Variasi Temperatur *Sintering*



Gambar 5.12. Pengaruh Beban Kompaksi terhadap Temperatur *Sintering* dengan Variasi Kekuatan Tekan





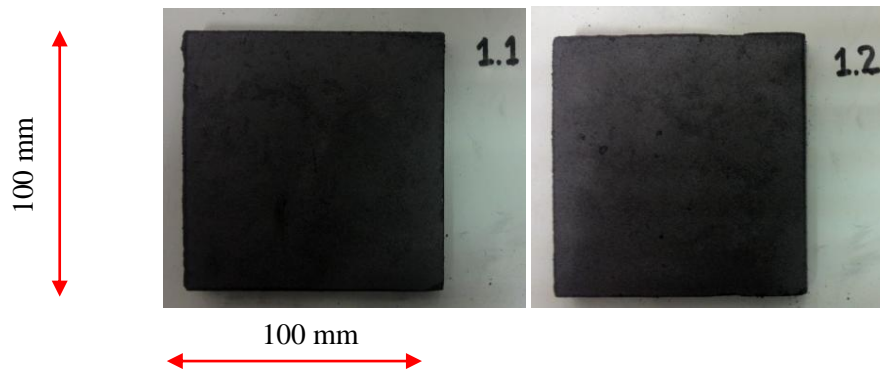
No. Spesimen	Fraksi volume bahan (% vol.)				
	<i>Phenolic resin</i>	Serbuk baja	Grafit	Alumina	<i>Palm ash</i>
1	20	40	10	10	20
2	20	20	30	10	20
3	20	20	10	30	20
4	20	30	10	10	30
5	20	20	20	10	30
6	20	20	10	20	30

Gambar 5.13. Pengaruh Persentase Massa Komposisi Bahan Penyusun terhadap Kekuatan Tekan

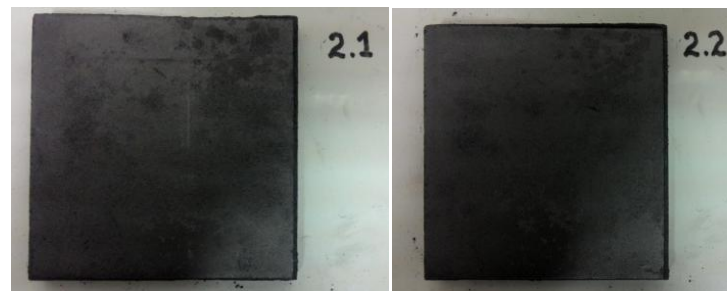
Persentase massa komposisi bahan penyusun komposit dengan pengisi terak tandan kosong kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 5.13. Kekuatan tekan meningkat pada persentase komposisi serbuk baja yang lebih tinggi, yaitu 40% (spesimen no. 1) dan 30% (specimen no. 4). Menurunnya kandungan terak tandan kosong kelapa sawit dan peningkatan kandungan serbuk baja ternyata mampu meningkatkan kekuatan tekan komposit. Ini disebabkan oleh serbuk baja merupakan bahan tambahan yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan penyusun lainnya dengan kandungan bahan pengikat yang sama.

### 5.2.3. Laju keausan dan struktur mikro permukaan pelat (SEM)

Gambar 5.14 s.d. 5.19 menunjukkan hasil cetakan pelat komposit kanvas rem dengan pengisi terak limbah tandan kosong kelapa sawit.



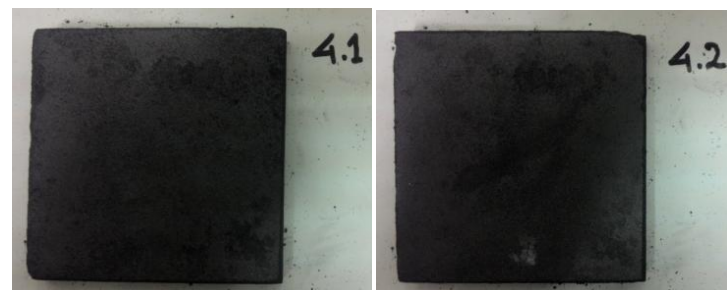
Gambar 5.14. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 1)



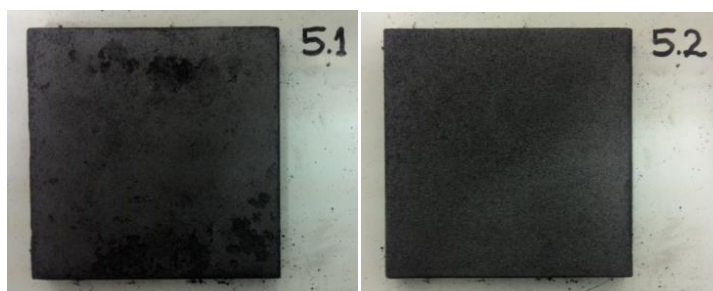
Gambar 5.15. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 2)



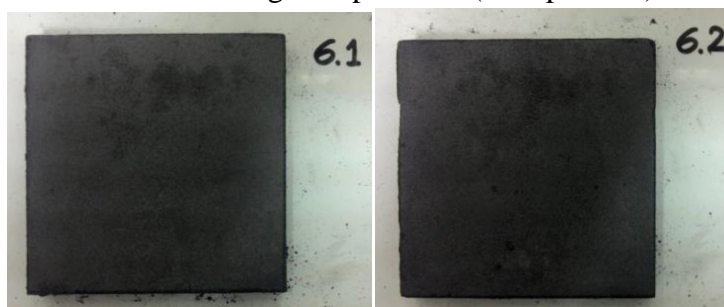
Gambar 5.16. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 3)



Gambar 5.17. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 4)

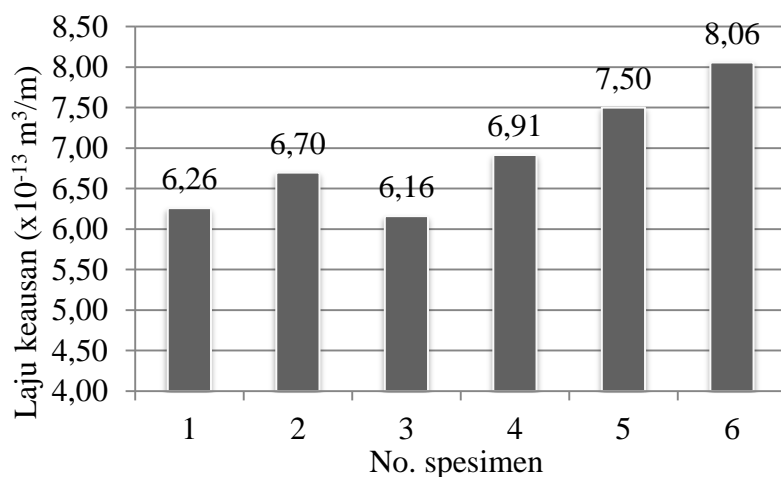


Gambar 5.18. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 5)



Gambar 5.19. Pelat Komposit Kanvas Rem Cakram dengan Pengisi Terak Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Komposisi 6)

Laju keausan pada masing-masing komposisi komposit kanvas rem diperlihatkan pada Gambar 5.20.



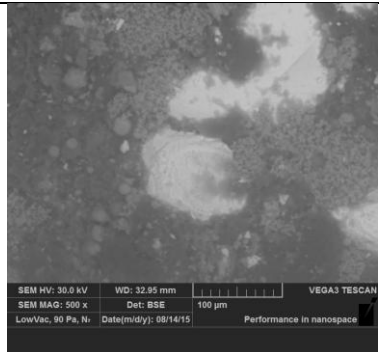
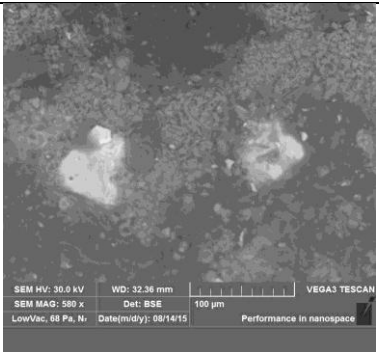
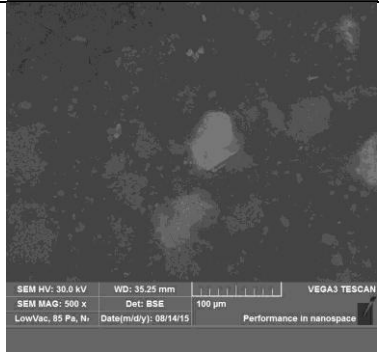
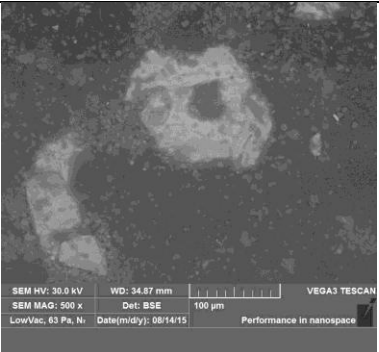
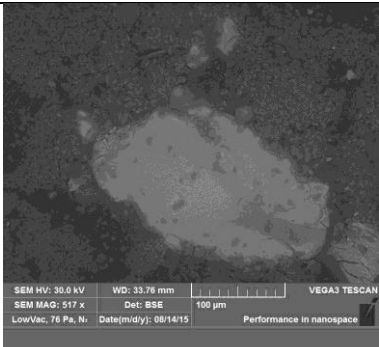
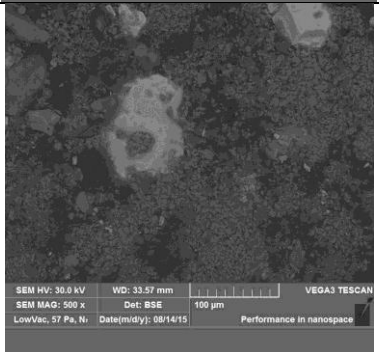
No. Spesimen	Fraksi volume bahan (% vol.)				
	<i>Phenolic resin</i>	Serbuk baja	Grafit	Alumina	<i>Palm ash</i>
1	20	40	10	10	20
2	20	20	30	10	20
3	20	20	10	30	20
4	20	30	10	10	30
5	20	20	20	10	30
6	20	20	10	20	30

Gambar 5.20. Pengaruh Persentase Massa Komposisi Bahan Penyusun terhadap Laju Keausan

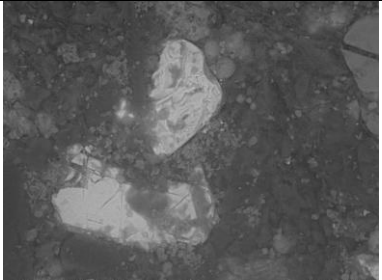
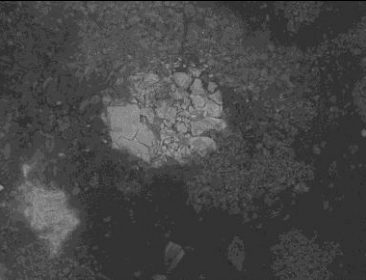


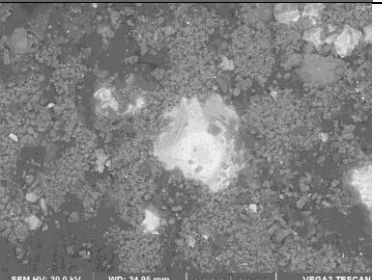
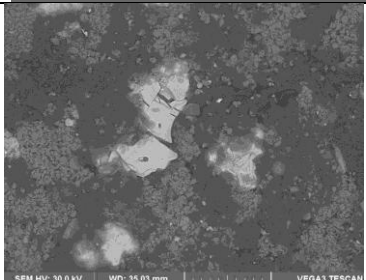
Laju keausan permukaan komposit dipengaruhi oleh komposisi alumina dan serbuk baja. Kandungan alumina yang tepat dapat menurunkan laju keausan, begitu juga dengan serbuk baja yang juga mampu mengurangi laju keausan komposit. Untuk komposisi terak tandan kosong sawit yang lebih tinggi tanpa peningkatan komposisi serbuk baja dan alumina dapat meningkatkan laju keausan.

Hasil observasi SEM terhadap permukaan komposit sebelum dan sesudah uji keausan tunjukkan pada Tabel 5.2. Pada foto SEM terlihat pengaruh distribusi komposisi bahan penyusun. Pada komposisi 1 alumina mengalami pengurangan dimensi akibat pengikisan permukaan, demikian juga dengan komposisi 3. Untuk komposisi 4, 5, dan 6 terlihat jelas bahwa alumina menjadi bentuk serpihan setelah uji keausan. Bentuk alumina seperti ini menunjukkan bahwa di permukaan mengalami keausan yang cukup tinggi.

Tabel 5.2. SEM Komposit Sebelum dan Sesudah Uji Keausan

No. spesimen	Sebelum	Sesudah
1		
2		
3		

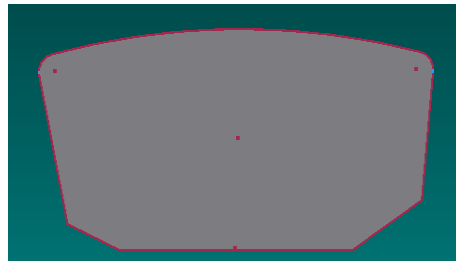
Tabel 5.2. (lanjutan)

No. spesimen	Sebelum	Setelah
4	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 32.65 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 65 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 33.38 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 98 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>
5	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 31.17 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 22 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 11.26 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 31 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>
6	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 34.95 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 49 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>	 <p>SEM HV: 30.0 kV WD: 35.03 mm VEGA3 TESCAN SEM MAG: 500 x Det: BSE 100 µm LowVac, 51 Pa, N: Date(m/d/y): 08/14/15 Performance in nanospace</p>

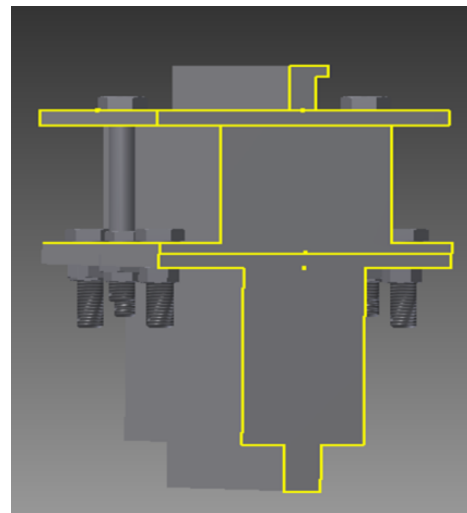
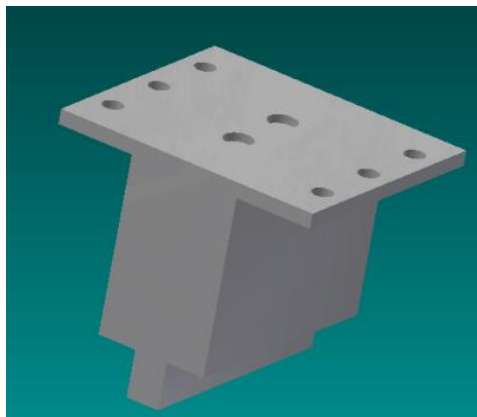
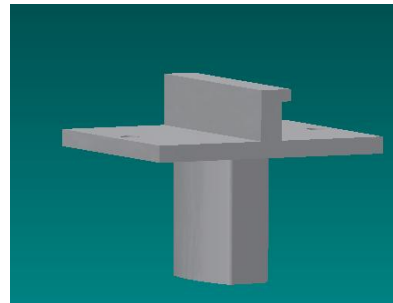
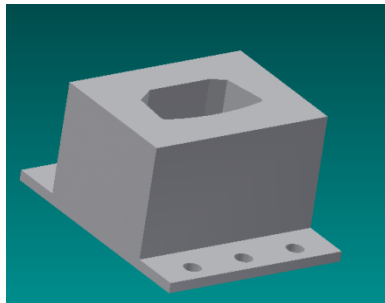
#### 5.2.4. Desain awal kanvas rem cakram bahan komposit pengisi terak limbah kelapa sawit

Gambar desain awal cetakan kanvas rem dibuat berdasarkan profil dan dimensi dari kanvas rem komersial. Pembuatan cetakan kanvas rem meliputi perancangan bentuk cetakan, proses pengerjaan cetakan, serta material cetakan. Tahap desain diawali dengan mengukur dimensi kanvas rem komersial dan digambar dengan bantuan *software Autodesk Inventor*. Adapun bentuk profil kanvas rem tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan 5.22.





Gambar 5.21. Profil Kanvas Rem



Gambar 5.22. Desain Awal *Jigs and Fixtures* Produk Kanvas Rem

Material yang digunakan untuk pembuatan cetakan kanvas rem ini ialah baja ASTM A36. Pembuatan cetakan kanvas rem menggunakan proses pemesinan. Adapun cetakan kanvas rem tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.23.





(a) (b)

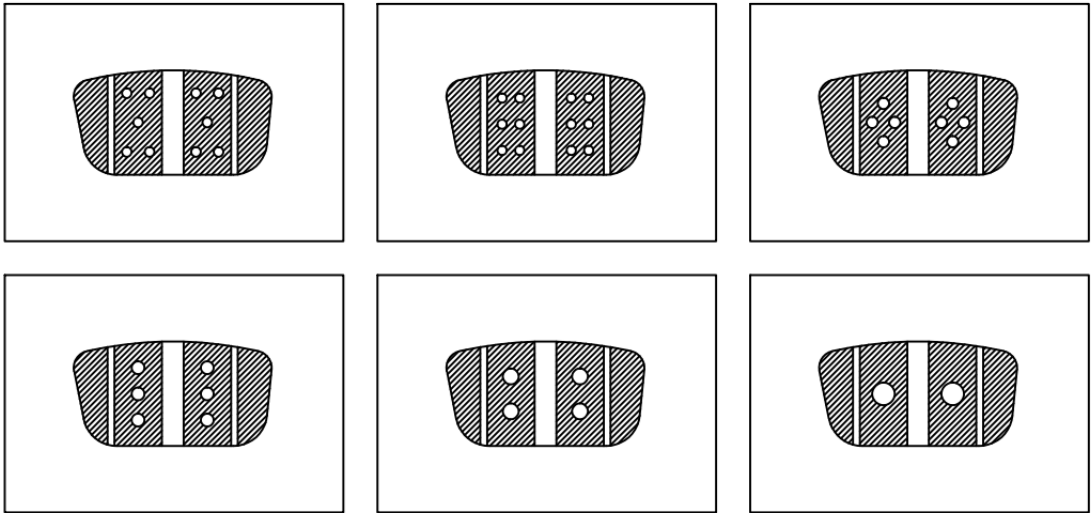


(c)

Gambar 5.23 (a) Dudukan, (b) *Punch*, (c) *Dies*

Desain kanvas rem yang telah dilakukan pada penelitian Tahun 1 ini ditunjukkan pada Gambar 5.24. Studi terhadap desain kanvas re mini sebelumnya telah dilakukan oleh K. Shahril *et al* (2012). Dalam pemilihan desain kanvas rem cakram yang ada belum mempertimbangkan aspek bahan penyusun. Beberapa keunggulan desain kanvas rem model baru ini antara lain:

1. Bahan penyusun yang khas yaitu dengan pengisi terak tandan kosong kelapa sawit.
2. Produk yang akan dibuat sesuai dengan desain mudah dicetak/manufaktur.
3. Luas kontak yang sama untuk seluruh desain sehingga distribusi temperatur yang optimum dapat dicapai.



Gambar 5.24. Desain Model Baru Kanvas Rem Cakram Sepeda Motor