**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Aplikasi karbon hitam dari hasil karbonisasi ampas tebu menjadi tinta spidol warna hitam menggunakan tiga variasi massa karbon hitam. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui komposisi karbon hitam yang paling tepat dan menghasilkan tinta spidol dengan kualitas paling baik. Hasil akhir dari penelitian ini berupa tinta spidol dengan warna hitam yang telah dikarakterisasi untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya.

1. **Pembuatan Arang Ampas Tebu**

Ampas tebu yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis ampas tebu yang diambil dari limbah sisa pembuatan es tebu. Preparasi ampas tebu dilakukan dengan memisahkan ampas tebu dari kulit dan kotorannya. Setelah ampas tebu dibersihkan, kemudian ampas tebu dipotong kecil-kecil untuk menyamakan ukuran sampel dan mempercepat proses pengeringan. Kemudian ampas tebu dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari selama ± 16 jam (dalam 2 hari), hingga ampas tebu menjadi kering yaitu hingga beratnya menjadi konstan. Pengeringan ini dilakukan untuk mengurangi kadar air dalam ampas tebu. Ampas tebu kering yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1,8 kg. Selanjutnya, ampas tebu yang telah kering dihaluskan untuk memperkecil ukuran ampas tebu kering.

Pembuatan arang ampas tebu dilakukan dengan cara memasukkan ampas tebu yang sudah dihaluskan kedalam *furnace*. Proses karbonisasi dilakukan secara bertahap pada suhu 400 °C selama 2 jam. Kadar air mulai menguap pada suhu 100°C, kemudian hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200-260°C diikuti selulosa pada suhu 240-340°C, dan lignin pada suhu 280-400°C [40]. Proses karbonisasi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam ampas tebu dapat digambarkan secara sederhana dalam persamaan berikut:



Dari proses karbonisasi ini didapatkan karbon ampas tebu yang berwarna hitam. Karbon ampas tebu yang didapatkan kemudian dihaluskan dengan cara ditumbuk menggunakan mortal dan alu. Arang ampas tebu yang telah dihaluskan kemudian diayak menggunakan screen sablon T150 untuk mendapatkan serbuk halus karbon yang homogen. Proses ini dilakukan karena ukuran partikel akan mempengaruhi luas bidang reaksi pada proses pelarutan karbon ampas tebu dalam pelarut tinta. Semakin kecil ukuran partikel maka luas bidang reaksinya semakin besar. Bidang reaksi yang luas akan mempercepat laju reaksi sehingga karbon ampas tebu akan lebih cepat larut [11]. Berikut ini gambar karbon ampas tebu yang telah dihaluskan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Karbon Ampas Tebu

1. **Pembuatan Tinta**

Pembuatan tinta spidol ampas tebu dilakukan dengan mencampurkan bahan-bahan penyusun tinta, yaitu arang ampas tebu, gum arab, polietilen glikol (PEG) dan alkohol. Langkah pertama pada pembuatan tinta yaitu dengan cara melarutkan gum arab pada suhu 80-90 °C menggunakan *hotplate* dan *magnetic stirrer*, hingga gum arab terlarut tanpa meninggalkan endapan (homogen). Gum arab merupakan produk yang dihasilkan dari penyadapan getah pohon Acacia. Gum arab dilarutkan menggunakan pelarut akuades karena gum arab bersifat hidrofilik, yaitu senyawa yang dapat berikatan dengan air, sehingga gum arab akan homogen dalam aquades. Pemanasan campuran gum arab dan akuades pada suhu 80-90 °C dilakukan agar mempercepat pelarutan gum arab. Proses pelarutan berlangsung lebih cepat jika disertai pemanasan, pengadukan atau jika zat terlarut lebih halus [41]. Gum arab digunakan pada tinta berfungsi sebagai agen pengemulsi, pengental dan menstabilkan viskositas dari tinta yang dihasilkan. Hal ini karena gum arab memiliki gugus arabinogalactum protein (AGP) dan glikoprotein yang berperan sebagai pengemulsi dan pengental [42]. Gum arab tidak memiliki rasa dan bau dan juga tahan panas sehingga digunakan sebagai pengikat, penstabil dan pengemulsi dalam tinta tanpa mengganggu organoleptik dari tinta.

Setelah gum arab terlarut, ditambahkan larutan PEG dan karbon ambas tebu. PEG adalah poli (eter) yang larut dalam pelarut air dan pelarut organik. PEG memiliki toksisitas yang rendah sehingga popular digunakan pada pembuatan tinta. Sifat PEG yang dapat larut dalam pelarut air dan pelarut organik menjadikannya cocok dengan berbagai molekul biologis, seperti polisakarida dalam bahan gum arab [43]. PEG merupakan polimer yang memiliki sifat hidrofilik sehingga larut dalam air yang bersifat stabil, dapat menyebar, mudah menguap dan dapat mengikat pigmen sehingga baik digunakan sebagai bahan pembuatan tinta. PEG digunakan pada tinta sebagai *releasing agent*, karena PEG menghasilkan minyak yang memudahkan tinta menjadi mudah dihapus pada media *whiteboard.*

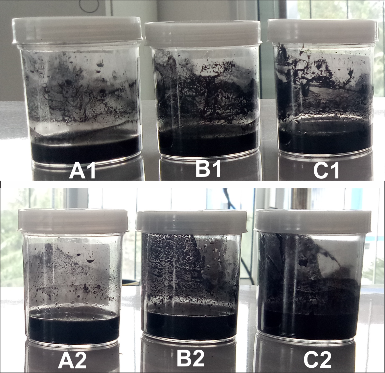
Pada sampel tinta kemudian ditambahkan pelarut alkohol 96% pada tiap-tiap variasi tinta. Penggunaan alkohol dimaksudkan untuk melarutkan bahan penyusun tinta yaitu karbon ampas tebu, gum arab dan PEG. Alkohol bersifat polar sehingga baik untuk melarutkan gum arab dan PEG yang juga bersifat polar. Pelarut pada spidol berfungsi untuk melarutkan dan mengangkut pewarna dan bahan lain dalam tinta spidol melalui spons. Alkohol juga berperan sebagai *drier agent*, yang berfungsi sebagai bahan pemercepat pengeringan tinta ketika diaplikasikan. Alkohol 96% digunakan sebagai *drier agent* karena memiliki titik didih rendah yaitu 78 °C sehingga sifatnya mudah menguap pada suhu ruang. Setelah tinta spidol diaplikasikan ke media tulis, pelarut alkohol secara otomatis akan menguap ke udara dan menyisakan pewarna, gum arab dan PEG.

Berikut ini formulasi tinta spidol ampas tebu ditampilkan dalam tabel 4.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Variasi Tinta | Penambahan | | | | |
| Pigmen (g) | PEG (ml) | Gum Arab (g) | Alkohol (ml) | Akuades (ml) |
| 1 | A | 1 | 1 ml | 0.75 | 4 | 10 |
| 2 | B | 2 | 1 ml | 0.75 | 4 | 10 |
| 3 | C | 3 | 1 ml | 0.75 | 4 | 10 |

Pencampuran tinta dilakukan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Pencampuran ini dimaksudkan untuk membuat bahan-bahan tinta membentuk larutan yang homogen. Proses pencampuran menggunakan *shaker* akan menyebabkan bahan yang satu menyebar ke bahan yang lain dan sebaliknya, sehingga bahan-bahan yang sebelumnya terpisah akhirnya membentuk hasil yang homogen.

Berikut ini gambar 4.2 merupakan sampel tinta yang dihasilkan :



**Gambar 4.2** Tinta yang dihasilkan dengan variasi massa karbon ampas tebu a) 1 gram, b) 2 gram, dan c) 3 gram.

Pembuatan tinta spidol dilakukan secara duplo, yaitu perlakuan kerja dilakukan dua kali pada tiap masing-masing variasi. Perlakuan ini bertujuan untuk membandingkan hasil percobaan yang pertama dan kedua agar mengurangi kesalahan dalam penelitian, seperti kesalahan pengukuran bahan atau penggunaan alat saat penelitian.

1. **Pengujian Kualitas Tinta**

Pengujian kualitas tinta meliputi pengujian massa jenis, viskositas, waktu kering, daya hapus, dan karakterisasi menggunakan FTIR.

* + 1. **Pengujian Massa Jenis**

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai massa jenis tinta A yaitu 1,02 g/cm3, tinta B yaitu 1,03 g/cm3, dan tinta C 1,06 g/cm3. Hasil tersebut memenuhi standar massa jenis tinta sesuai Standar Nasional Indonesia tentang tinta yaitu minimal 1,0 g/cm3. Berikut ini grafik massa jenis tinta yang dihasilkan:

**Gambar 4.3**. Grafik Massa Jenis Tinta

Gambar 4.3 menunjukkan grafik kenaikan massa jenis tinta berdasarkan konsentrasi karbon ampas tebu. Berdasarkan grafik tersebut, konsentrasi karbon ampas tebu memiliki hubungan berbanding lurus dengan massa jenis tinta. Hal ini karena konsentrasi berhubungan linear terhadap massa zat dan massa zat akan berpengaruh terhadap massa jenis. Massa jenis adalah perbandingan massa zat suatu tinta terhadap volumenya, sehingga jika massa suatu zat meningkat maka massa jenisnya juga akan meningkat. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rengganis dkk [11], bahwa kenaikan konsentrasi berbanding lurus dengan massa jenisnya.

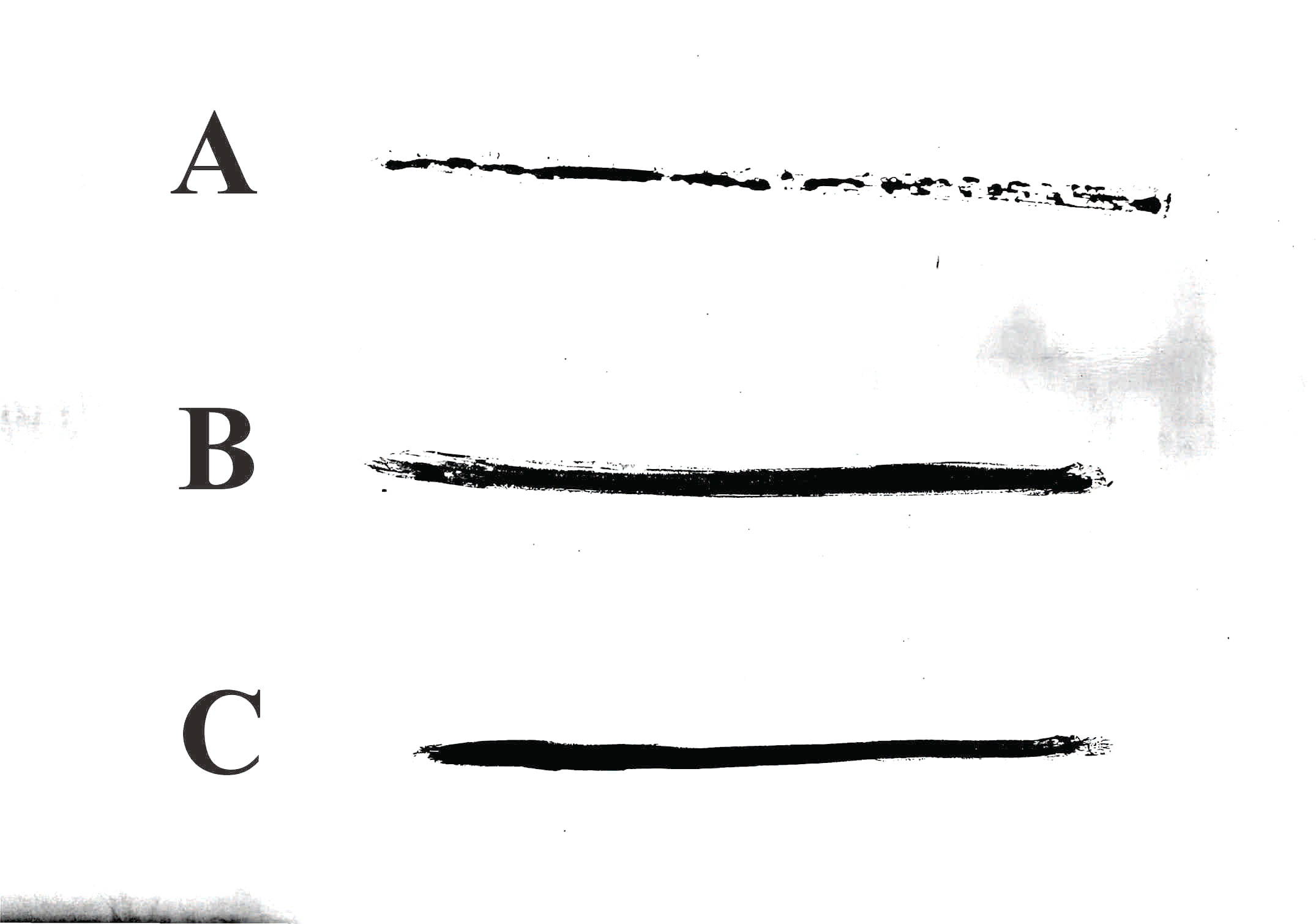
* + 1. **Pengujian Viskositas**

Berdasarkan data uji, nilai viskositas atau kekentalan tertinggi didapatkan untuk variasi tinta C dan viskositas terendah didapatkan pada variasi tinta A. Nilai viskositas tinta komersil yaitu 1,30450 *poise*, sedangkan nilai viskositas tinta A yaitu 3,5011 *poise*, tinta B yaitu 5,4164 *poise* dan tinta C yaitu 7,3405 *poise*. Variasi tinta A, B dan C memiliki nilai viskositas yang jauh diatas nilai viskositas tinta komersil, namun masih di bawah waktu alir tinta sesuai SNI tinta dengan nomor 06-1567-1999 yaitu 11 detik. Berikut ini gambar 4.4 grafik data uji viskositas tinta spidol ampas tebu :

**Gambar 4.4** Grafik Viskositas Tinta

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi pigmen ampas tebu mempengaruhi viskositas dari tinta spidol ampas tebu. Hasil ini sejalan menurut Muchtar dkk (2015), suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki nilai viskositas yang tinggi karena konsentrasi larutan adalah banyaknya partikel zat yang terlarut dalam satuan volume. Semakin banyak partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula [44]. Nilai viskositas berbanding lurus dengan kekentalan, semakin tinggi nilai viskositas suatu zat, maka semakin tinggi pula kekentalannya. Viskositas tinta mempengaruhi laju aliran tinta, semakin kental maka akan menghambat laju alir tinta. Tinta spidol tidak boleh terlalu kental, karena akan sulit mengalir saat digunakan. Tinta spidol pun tidak boleh terlalu encer, karena kepekatan warna tinta akan berkurang [18].

Berikut ini gambar hasil torehan tinta:

****

**Gambar 4.5** Hasil Torehan Tinta

Hasil torehan tinta dari ketiga variasi tersebut nampak perbedaan yang cukup signifikan. Hasil torehan tinta ini berhubungan dengan kekentalan atau viskositas tinta. Dari ketiga variasi tinta, terdapat torehan yang tidak stabil dan memiliki warna yang kurang pekat. Pada tinta variasi A, hasil torehan terlihat putus-putus dan warna yang kurang pekat yang artinya tinta tidak menempel dengan baik pada media *whiteboard*. Hal ini karena tinta variasi A masih encer yang disebabkan komposisi tinta lebih dominan pelarut dan kekurangan pigmen. Pada tinta dengan variasi B dan C terlihat memiliki torehan yang lebih stabil dan warna yang pekat. Hal ini disebabkan formulasi pelarut dan pigmen karbon ampas tebu telah seimbang. Partikel pigmen pada variasi B dan C lebih rapat dan merata sehingga menghasilkan torehan berwarna hitam yang lebih pekat.

Berdasarkan hasil uji massa jenis dan viskositas tinta spidol ampas tebu, didapatkan semakin besar nilai massa jenis maka semakin besar pula nilai viskositas tinta. Hal ini karena massa jenis mempengaruhi kerapatan partikel. Semakin besar massa jenis berarti semakin besar kerapatannya. Semakin rapat partikel, maka gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

* + 1. **Pengujian Waktu Kering dan Daya Hapus**

Hasil pengujian waktu kering tinta menunjukkan hasil yang sesuai dengan SNI waktu kering tinta. Pada tinta A, didapatkan waktu kering tinta tercepat yaitu 5,9 detik. Hasil ini berada di bawah nilai maksimal waktu kering tinta yaitu 40 detik, namun masih jauh dari nilai waktu kering tinta komersil yang beredar dipasaran yaitu 2 detik. Menurut ASTM D1640 1995, waktu kering tinta merupakan waktu yang diperlukan tinta untuk kering yang ditandai dengan sedikit atau tidak ada kelembaban tersisa setelah diaplikasikan pada permukaan media [27]. Waktu kering tinta spidol dipengaruhi oleh bahan yang berfungsi sebagai *drier agent*, yaitu alkohol 96%. Tinta yang dihasilkan pada penelitian ini masih sukar kering, hal ini bisa terjadi disebabkan karena kurangnya volume alkohol yang digunakan. Tinta spidol *whiteboard* sebaiknya memiliki waktu kering yang cepat namun tetap mudah dihapus.

Berikut ini tabel hasil pengujian waktu kering dan daya hapus dari tinta ampas tebu:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Variasi Tinta | Waktu Kering (detik) | Daya Hapus |
| 1 | A | 5.90 | Mudah |
| 2 | B | 13.76 | Mudah |
| 3 | C | 18.76 | Mudah |
| 4 | Tinta Komersil | 1.59 | Mudah |

Pada pengamatan daya hapus tinta spidol, tinta spidol variasi A dan B memiliki daya hapus yang cukup baik. Tinta spidol yang dihasilkan tidak meninggalkan bekas tinta atau mengotori permukaan media papan tulis ketika dihapus. Pada tinta spidol variasi C, tinta spidol sedikit mengotori permukaan *whiteboard* ketika dihapus, dan menjadi susah dihapus jika telah dibiarkan lebih dari 24 jam tinta menempel pada permukaan *whiteboard*, sehingga tinta menjadi semipermanen. Hasil uji daya hapus tinta menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi pigmen mempengaruhi daya hapus tinta. Kenaikan massa karbon ampas tebu menyebabkan kenaikan jumlah partikel zat yang terlarut dalam satuan volume tinta. Semakin banyak partikel yang terlarut, daya tarik-menarik antar partikel cairan tinta akan semakin kuat, sehingga menyebabkan semakin besarnya gaya yang dibutuhkan untuk memecahkan ikatan antar partikel dalam cairan tersebut. Menurut penelitian sebelumnya, daya hapus tinta spidol juga dipengaruhi oleh jumlah *releasing agent* (PEG) [39]. Tinta spidol yang dihasilkan memiliki daya hapus yang kurang baik bisa disebabkan karena formula PEG yang kurang tepat. Hal ini bisa karena konsentrasi PEG yang terlalu rendah sedangkan konsentrasi gum arab terlalu tinggi. Menurut Rengganis dkk (2017) penggunaan gum arab mempengaruhi daya lekat tinta, semakin banyak gum arab semakin besar daya lekatnya [11]. Hal ini menunjukkan, kurang tepatnya formula gum arab akan mempengaruhi daya lekat tinta spidol. Apabila konsentrasi gum arab terlalu tinggi, maka daya tarik-menarik antar partikel yang tak sejenisnya dalam hal ini tinta dengan substrat *whiteboard* semakin kuat, sehingga susah dihapus.

* + 1. **Karakterisasi FTIR**

Pada uji karakterisasi tinta spidol ampas tebu dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi senyawa didalam tinta. Hasil analisis serapan FTIR ini digunakan untuk memprediksi senyawa yang terkandung dalam tinta. Dari uji spektroskopi FTIR dengan sampel tinta spidol ampas tebu dan tinta komersil, didapatkan spektrum inframerah seperti yang tampak pada gambar berikut:



**Gambar 4.6** Hasil FTIR sampel tinta spidol ampas tebu dan tinta komersil

Pada spektrum FTIR tinta komersil memperlihatkan adanya puncak karakteristik CH3 (2950 cm-1, 2872 cm-1, 1484 cm-1 dan 1365 cm-1), CH2 (2929 cm-1 dan 1484 cm-1), C=O (1738 cm-1), dan C-O (1227 cm-1) [35], [45]. Pada puncak serapan 1738 cm-1 memiliki puncak yang tajam, puncak serapan ini merupakan karakteristik ikatan C=O dari aldehid ataupun ester. Pada daerah serapan 1227 cm-1 dengan puncak yang tajam menunjukkan karakteristik ikatan C-O dari eter [35], [46]. Hasil analisis spektrum FTIR ini memperlihatkan bahwa tinta komersil yang biasa digunakan tidak menggunakan pelarut alkohol, ditandai dengan tidak ditemukan puncak serapan OH. Berdasarkan hasil analisis spektrum FTIR, tinta komersil diperkirakan menggunakan beberapa bahan jenis ester atau aldehid dan eter. Dalam pembuatan tinta, beberapa jenis aldehid biasa digunakan sebagai pelarut bersamaan dengan bahan ester dan eter yang berfungsi sebagai zat pelumas, pengawet maupun *releasing agent* yang membuat kualitas tinta menjadi lebih baik.

Pada spektrum FTIR tinta spidol ampas tebu, memperlihatkan terdapat vibrasi stretching O-H pada bilangan gelombang 3318 cm-1. Puncak serapan 1643 cm-1 menunjukkan vibrasi C=C. Angka gelombang 1078 cm-1 menandakan gugus fungsi C-O-C, dan 1017 cm-1 menandakan gugus fungsi C-O dengan tipe senyawa alkohol [45]. Pada spektrum FTIR tinta spidol ampas tebu, muncul serapan lebar yang merupakan serapan khas O-H (3318 cm-1 ), dan serapan C-O (1017 cm-1 ) yang merupakan serapan uluran C-O stretching dari alkohol primer. Dua puncak serapan tersebut mengkonfirmasi gugus fungsi dari alkohol, dengan rumus struktur CH3-CH2-OH sebagai salah satu bahan dalam pembuatan tinta spidol ampas tebu. Pada serapan C=C (1643 cm-1) diperkirakan ikatan alkenil karbon-karbon dari pigmen karbon ampas tebu. Kemudian pada serapan 1078 cm-1 menandakan gugus C-O-C dari eter yang terkandung dalam PEG.

Hasil analisis spektrum FTIR berhasil menunjukkan identifikasi gugus fungsi dan prediksi senyawa kimia komponen tinta. Hasil analisis spektrum tinta ampas tebu menerangkan bahwa, tinta ampas tebu aman digunakan dan tidak mengandung senyawa VOC berbahaya. Pada tinta komersil, hasil analisis spektrum menyatakan tinta komersil memiliki kemungkinan mengandung senyawa aldehid, dimana senyawa jenis aldehid yang biasa digunakan sebagai pelarut termasuk kedalam VOC yang berbahaya bagi kesehatan.