

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

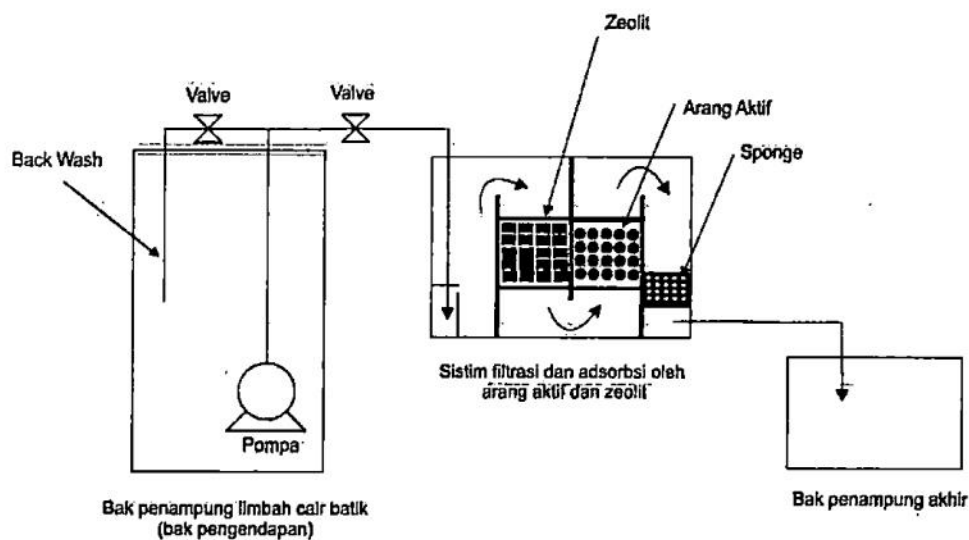
4.1 Perancangan Model Alat Penetralisir Limbah Cair Batik

Berdasarkan rancangan awal penggunaan bahan penyerap polutan limbah yaitu arang aktif dari limbah industri mebel jati dan juga Zeolit alam, maka metode yang cocok untuk teknologi penetralisir limbah cair batik adalah dengan metode fisika yaitu proses sorpsi. Menurut Purnomo (2010) limbah dalam bentuk cair, emulsi, atau *sludge*, dapat diserap dengan baik oleh bahan sorben seperti karbon aktif, abu terbang, abu tungku, batu Zeolit, dan vermikulit. Interaksi limbah dengan sorben meliputi penahanan mekanis sederhana, sorpsi fisik, dan reaksi kimia. Kesesuaian sifat limbah-sorben sangat penting, sorben dengan afinitas air tinggi cocok untuk limbah yang banyak mengandung air. Sejalan dengan pernyataan di atas menurut Yuliusman, dkk (2013) Zeolit bersifat *hydrophilic* mempunyai afinitas tinggi terhadap air dan senyawa polar lainnya. Metode sorpsi penetralisir limbah batik yang akan diterapkan pada alat mengacu pada model kolom filtrasi metode multi media dengan sedikit variasi aliran pada sistem filtrasi/adsorbsinya. Hal ini untuk menanggulangi terjadinya sumbatan pada aliran kolom adsorpsi yaitu pada kolom Zeolit dan arang aktif pada sistem filtrasi/adsorpsi karena butiran arang maupun Zeolit menutup celah pada saringan yang menjadi wadah Zeolit dan arang aktif tersebut. Penjabaran dan bentuk sistem filtrasi adalah sebagai berikut :

4.1.1 Sistem Kerja Alat Penetralisir Limbah Cair Batik

Sudah diketahui bahwasanya limbah cair industri batik adalah termasuk limbah B-3 yaitu bersifat cemaran dan beracun diantaranya adalah mengandung logam berat *chromium* (Cr), *Kadnium* (Cd), Timbal (Pb), dan warna yang pekat serta bau yang tidak sedap, sehingga parameter yang digunakan dalam perancangan ini adalah penurunan : kadar logam berat, warna yang pekat, dan bau

yang tidak sedap pada limbah cair batik dengan cara dilakukan treatment menggunakan alat penetralisir limbah. Metode yang digunakan adalah secara kimia fisika yaitu dengan menggunakan adsorbden berupa arang aktif dan Zeolit. Sehingga pada tahap ini setelah dilakukan beberapa studi literatur mengenai bentuk dan model alat penetralisir limbah cair, maka diperoleh bentuk skema rancangan alat penetralisir limbah cair batik yang cocok digunakan dengan penggunaan metode adsorbsi arang aktif dan Zeolit secara aliran dengan bentuk gambar skema seperti di bawah ini :



Gambar 4.1 Skema rancangan alat pentralisir limbah cair.

Skema aliran yang terjadi dalam alat penetralisir limbah batik ini adalah sebagai berikut :

1. Limbah pada awalnya dimasukkan ke dalam bak penampung limbah, bak ini juga berfungsi sebagai bak pengendapan. Pada bak penampung limbah ini diharapkan akan terjadi pengendapan warna atau padatan tersuspensi dalam limbah cair batik, bak penampung ini difasilitasi level kedalaman pompa agar pompa tidak menyedot air di dasar bak yang sebagai media pengendapan. Dalam satu kali pengendapan terjadi dalam kurun waktu kurang lebih satu hari.

2. Setelah limbah selama kurang lebih satu hari di dalam bak penampung maka limbah selanjutnya dipompakan menuju sistim filtrasi dengan pompa celup. Pada pemompaan limbah cair ini, debit air yang akan masuk ke dalam kolom filtrasi dapat diatur sedemikian rupa sehingga akan berpengaruh pada lama waktu tinggal limbah cair pada masing-masing kolom filtrasi/adsorpsi.
3. Dalam sistim filtrasi/kolom adsorpsi Zeolit dan arang aktif terdapat beberapa skema aliran dan terbagi dalam tiga unit kolom yaitu: a). Kolom pengendapan, b). Kolom adsorpsi Zeolit, c). Kolom adsorpsi arang aktif, dan d). Kolom filtrasi *sponge*. Beberapa skema aliran tersebut akan dijelaskan lebih detail seperti dibawah :
 - a) Mula-mula aliran akan menuju pada kolom pertama yang difungsikan sebagai kolom pengendapan kedua dari sistim penetralisir limbah cair batik. Cairan berjalan dari drum penampung pertama dialirkan menuju kolom pengendapan pada sistim filtrasi/adsorpsi, aliran dari atas ke bawah. Dalam kolom ini terdapat kotak sekat yang berfungsi menghambat aliran turbulen air yang akan memasuki kolom ini. Tujuan dari kolom ini adalah untuk mengendapan polutan tersuspensi yang masih terkandung di dalam limbah cair batik pada drum penampung awal. Pada kolom ini dilengkapi kran untuk mengambil sampel limbah cair untuk diuji di laboratorium kandungan logam berat dan warnanya terhadap pengaruh pengendapan.
 - b) Selanjutnya limbah cair akan mengalir menuju kolom adsorpsi Zeolit. Aliran yang terjadi pada kolom ini dikarenakan level air pada kolom pengendapan sudah terlewati dan air akan mengalir ke kolom adsorpsi Zeolit dari atas turun ke bawah dengan melewati pecahan batu Zeolit. Dengan bentuk aliran seperti ini diharapkan logam berat, dan bau tak sedap dari limbah cair batik dapat terserap pada rongga pori batu Zeolit. Kolom ini dilengkapi kran untuk mengambil sampel limbah cair untuk mengetahui tingkat adsorpsi Zeolit terhadap limbah cair batik.
 - c) Setelah limbah cair batik melewati kolom adsorpsi Zeolit selanjutnya limbah cair akan mengalir ke kolom adsorpsi arang aktif, pada kolom ini aliran akan mengalir dari bawah menuju ke atas atau dari kolom adsorpsi

Zeolit bagian bawah mengalir ke kolom adsorpsi arang aktif bagian bawah. Tujuan aliran ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya sumbatan arang aktif pada saringan karena mengendapnya arang aktif jika aliran dialirkan dari atas ke bawah. Dengan aliran ke atas ini diharapkan arang aktif dapat sedikit terapung sehingga terdapat celah pada antar butirnya yang akan memaksimalkan proses adsorpsi arang aktif karena seluruh permukaan kontak arang aktif akan terkena limbah cair. Pada kolom ini juga dilengkapi kran untuk mengambil sampel limbah cair untuk mengetahui tingkat adsorpsi arang aktif terhadap limbah cair batik.

- d) Setelah limbah melewati kolom adsorpsi arang aktif selanjutnya limbah cair akan mengalir ke kolom filtrasi *sponge*. Pada kolom ini limbah cair akan disaring untuk terakhir kalinya setelah melewati beberapa kolom treatment. Tujuan filtrasi ini adalah untuk menghilangkan pengotor dan kemungkinan masih adanya butiran arang aktif yang terikut pada air limbah.
4. Setelah melewati kolom filtrasi *sponge* selanjutnya air limbah akan dialirkan pada bak penampung akhir dan sampel air limbah selanjutnya akan diuji kadar logam berat, warna, serta bau.

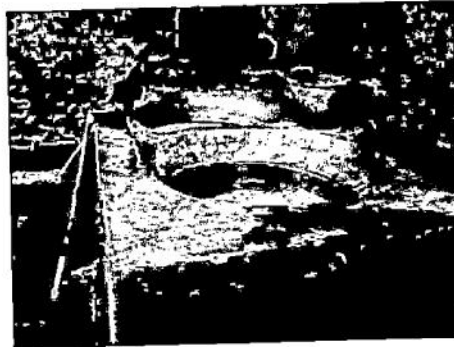
4.2 Perancangan dan Perhitungan Alat Penetralisir Limbah Batik

Perancangan dan perhitungan alat meliputi perhitungan jumlah kapasitas olahan air limbah batik yang dapat dilakukan dengan menggunakan alat penetralisir limbah cair batik per hari berdasarkan jumlah volume produksi limbah cair yang dihasilkan oleh industri kain batik setiap harinya. Setelah kapasitas rencana alat didapatkan maka dilakukan perancangan;1) Volume penampung limbah batik;2) Instalasi filtrasi/adsorpsi (seksi uji);3) Sistem perpipaan dan pemilihan pompa;4) Bak penampung akhir;5) Dan rangka alat penetralisir.

4.2.1 Perencanaan Kapasitas Alat Penetralisir Limbah Batik.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, produksi limbah cair batik setiap harinya di industri kain batik Ibu Menik di Desa Pijenan, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul adalah sebagai berikut:

1. Perebusan kain batik sebelum dicuci



Gambar 4.2 Bak perebusan kain batik

Volume bak perebusan, karena bak berbentuk parabola maka volumenya:

$$V = La \cdot t$$

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot d^3 \cdot t$$

$$\text{Diameter (d)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (t)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah bak} = 2 \text{ buah}$$

Karena bak 2 buah menjadi:

$$V = 2 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot d^3 \cdot t$$

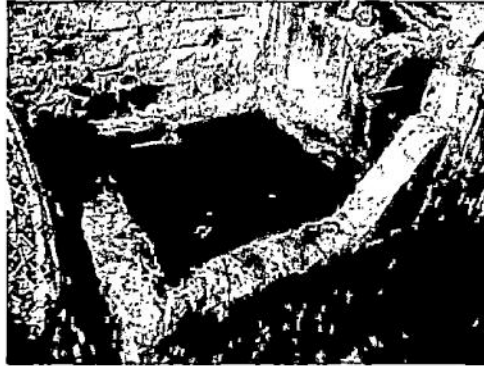
Maka limbah yang dihasilkan:

$$V = 2 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot d^3 \cdot t$$

$$V = 2 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot 0,5^3 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} = 0,157 \text{ m}^3 = 157 \text{ liter}$$

2. Pencucian dan pembilasan

Pencucian dan pembilasan dilakukan di dalam bak cuci dan bilas yang berukuran hampir sama.



Gambar 4.3 Bak cuci dan bilas

Volume bak cuci dan bilas:

$$V = p \cdot l \cdot t$$

Dengan,

t	: Tinggi	= 0,5 meter
l	: Lebar	= 0,5 meter
p	: Panjang	= 1,5 meter
Jumlah bak		= 2 buah

Maka volume bak:

$$V = 2 \cdot p \cdot l \cdot t$$

$$V = 2 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m}$$

$$V = 0,75 \text{ m}^3 = 750 \text{ liter}$$

$$\text{Total limbah dalam satu hari} = 157 \text{ liter} + 750 \text{ liter} = \pm 907 \text{ liter}$$

$$\text{Dibulatkan} = 1000 \text{ liter/hari}$$

Pencucian kain batik hanya dilakukan satu hari satu kali pencucian, yaitu saat pagi hari, maka dapat diasumsikan limbah cair total yang dihasilkan dalam satu rumah produksi kain batik adalah 1000 liter/hari. Dengan jumlah tersebut maka rencana pembuatan prototipe alat dibuat lebih kecil dari jumlah kapasitas limbah yang dihasilkan perhari pada rumah produksi kain batik yaitu kapasitas pengolahan sebesar ± 200 liter/hari, hal ini dimaksudkan karena alat masih bersifat *prototipe* dan dirancang *portable* serta masih dalam tahap pengembangan. Dengan rencana pengolahan tersebut maka apabila alat diaplikasikan ke rumah produksi kain batik maka membutuhkan 5 unit alat serupa.

4.2.2 Perencanaan Bak Penampung dan Pengendap Limbah

Bak penampung dan pengendap limbah berfungsi untuk tempat penampungan limbah cair batik sekaligus sebagai tempat untuk proses pengendapan awal limbah cair batik sebelum diproses di instalasi atau sistim filtrasi/adsorpsi dengan arang aktif dan Zeolit. Volume rencana adalah berasumsi dengan pengolahan ± 200 liter/hari. Maka direncanakan volume bak penampung limbah dengan dimensi dan ukuran sebagai berikut:

$$V = L_a \cdot t$$

Dengan:

V : Volume bak penampung limbah

t : Tinggi bak penampung limbah

L_a : Luas alas bak penampung limbah

Bak direncanakan berbentuk tabung dengan diameter alas < 60 cm, maka perhitungan luas alas bak adalah:

$$L_a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{dengan diameter rencana } (d) = 60 \text{ cm})$$

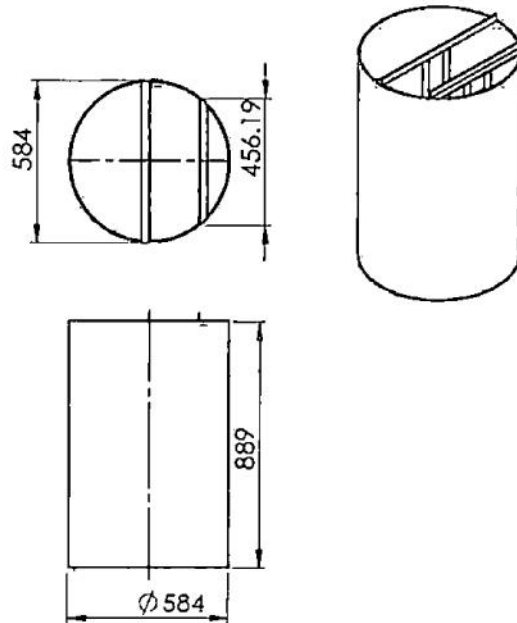
Maka tinggi tabung:

$$200 \text{ liter} = \frac{\pi \cdot (60)^2}{4} \cdot t \quad (1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3)$$

$$200 \times 1000 \text{ cm}^3 = 2827,44 \cdot t$$

$$t = \frac{200000 \text{ cm}^3}{2827,44 \text{ cm}^2}$$

$$t = 70,73 \text{ cm}$$



Gambar 4.4 Desain bak penampung dengan (*container drum*)

Dari perhitungan di atas didapati dimensi rencana bak penampung yaitu volume 200 liter dengan diameter bak 60 cm dan tinggi 70,73 cm. Maka dilakukan pemilihan bahan yang sesuai dan mendekati volume dan dimensi rencana bak penampung di atas. Sehingga dipilih drum besi (*container drum*) dengan spesifikasi dan ukuran sebagai berikut:

Volume = 238,131 liter

Diameter = 58,4 cm

Tinggi = 88,9 cm

Berat kosong = ± 20 kg

Material drum = Besi



Gambar 4.5 Drum besi kapasitas 238 liter

Dari kapasitas dan spesifikasi drum di atas dapat dihitung beban rencana bak penampung limbah dengan asumsi level ketinggian maksimal cairan limbah batik 75 cm.

$$B_{tbpl} = B_{dk} + B_{lb}$$

Dengan :

B_{tbpl} : Berat total bak penampung limbah

B_{dk} : Berat drum kosong (diketahui 20 kg)

B_{lb} : Berat limbah batik

$$B_{lb} = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \times t_{lc} \times \rho_{\text{air limbah}}$$

Dengan :

B_{lb} : Berat limbah batik

D_d : Diameter drum (diketahui 0,584 m)

t_{lc} : Level limbah cair (asumsi 0,75 m)

$\rho_{\text{air limbah}}$: Densitas air limbah (900 kg/m^3) → diketahui

(ρ limbah cair diasumsikan sama dengan air = 900 kg/m^3)

Maka berat limbah batik (B_{lb}):

$$B_{lb} = \frac{\pi \cdot (0,584)^2 \text{m}}{4} \times 0,75 \text{ m} \times 900 \text{ kg/m}^3$$

$$B_{lb} = 180,80 \text{ kg}$$

Sehingga berat total bak penampung limbah (B_{tbpl}):

$$B_{tbpl} = 180,80 \text{ kg} + 20 \text{ kg}$$

$$B_{tbpl} = 200,80 \text{ kg}$$

4.2.3 Kolom Filtrasi/Adsorbsi (seksi uji)

Sistim filtrasi dan atau adsorbsi (seksi uji) berfungsi sebagai tempat untuk proses filtrasi dan atau adsorbsi logam berat B3, warna, dan bau tak sedap limbah cair batik dengan Zeolit dan arang aktif. Didalam sistim ini terdapat empat kolom yang difungsikan sebagai; tempat pengendapan kedua; adsorbsi Zeolit; adsorbsi arang aktif; dan filtrasi sponge. Volume sistim filtrasi/adsorbsi harus lebih kecil dari volume bak penampung limbah yaitu 200 liter, dan harus mempunyai beberapa pintu air/kran untuk mengalirkan sampel limbah yang sudah dilakukan treatment.

$$V = p \times l \times t$$

Dengan:

V : Volume kolom filtrasi/adsorpsi (seksi uji)

p : Panjang alas kolom filtrasi/adsorpsi (direncanakan 55 cm)

l : Lebar alas kolom filtrasi/adsorpsi (direncanakan 20 cm)

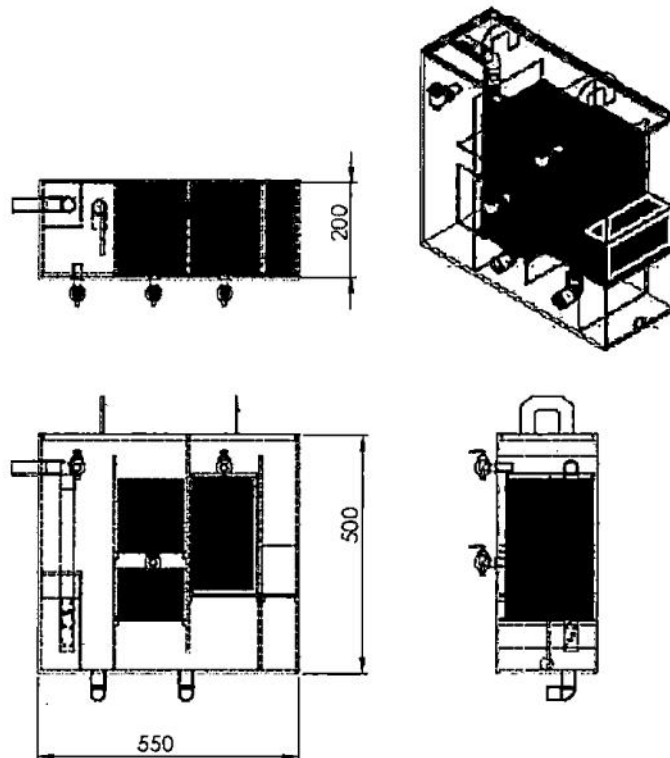
t : Tinggi alas kolom filtrasi/adsorpsi (direncanakan 50 cm)

Maka volume kolom filtrasi/adsorpsi (seksi uji):

$$V = 20 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$$

$$V = 55000 \text{ cm}^3$$

$$V = 55 \text{ liter}$$



Gambar 4.6 Desain sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji)

Perhitungan ukuran rencana, volume, dan berat sistim filtrasi berdasarkan setiap kolom:

a) Kolom pengendapan kedua:

$$V = p \times l \times t$$

Dengan :

- V : Volume kolom pengendapan kedua
 p : Panjang alas (direncanakan 20 cm)
 l : Lebar alas (direncanakan 15 cm)
 t : Tinggi sekat kolom (direncanakan 45 cm)

Sehingga volume kolom pengendapan kedua:

$$V = 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$$

$$V = 13500 \text{ cm}^3$$

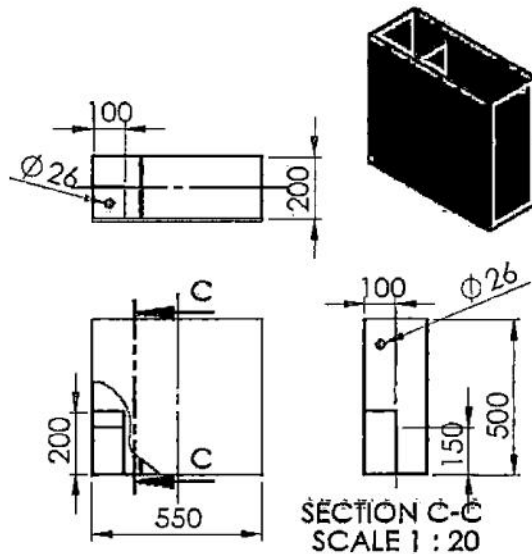
$$V = 0,0135 \text{ m}^3$$

Sehingga berat limbah dalam kolom pengendapan ($B_{l_{kp}}$):

$$B_{l_{kp}} = V \times \rho_{\text{air limbah}}$$

$$B_{l_{kp}} = 0,0135 \text{ m}^3 \times 900 \text{ kg/m}^3 \text{ (diketahui)}$$

$$B_{l_{kp}} = 12,15 \text{ kg}$$



Gambar 4.7 Desain kolom pengendapan kedua seksi uji

b) Kolom adsorpsi Zeolit

Karena di dalam kolom Zeolit terdapat saringan dan batu Zeolit maka volume limbah cair dalam kolom adalah:

$$V_{lkz} = v_{kz} - v_z$$

Dengan:

V_{lkz} : Volume limbah pada kolom adsorpsi Zeolit

v_{kz} : Volume kolom adsorpsi Zeolit

v_z : Volume Zeolit dalam saringan

Volume kolom adsorpsi Zeolit:

$$v_{kz} = p \times l \times t$$

Dengan :

v_{kz} : Volume kolom adsorpsi Zeolit

p : Panjang alas (direncanakan 20 cm)

l : Lebar alas (direncanakan 15 cm)

t : Tinggi sekat kolom (direncanakan 45 cm)

Maka volume kolom adsorpsi Zeolit:

$$v_{kz} = 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$$

$$v_{kz} = 13500 \text{ cm}^3$$

$$v_{kz} = 0,0135 \text{ m}^3$$

Volume Saringan Zeolit:

$$V_{sz} = p \times l \times t$$

Dengan :

V_{sz} : Volume saringan Zeolit

p : Panjang alas saringan (direncanakan 18 cm)

l : Lebar alas saringan (direncanakan 14 cm)

t : Tinggi saringan (direncanakan 25 cm)

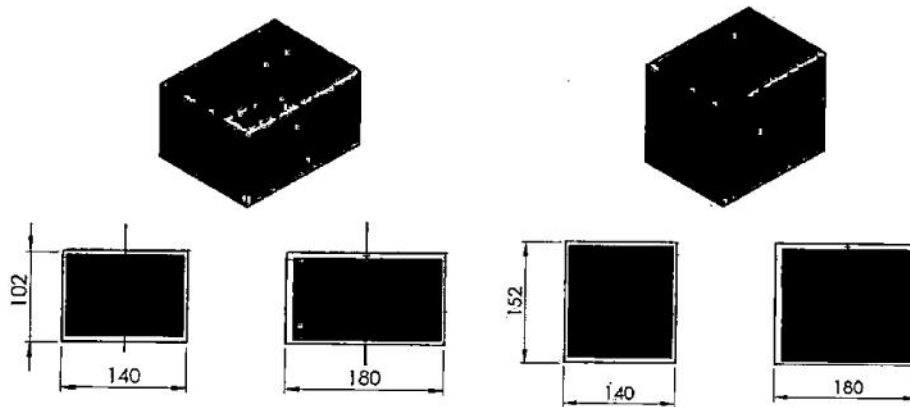
Asumsi: saringan Zeolit pada gambar rancangan ada dua buah namun dalam perhitungan keduanya dijadikan satu untuk mempermudah perhitungan.

Maka volume saringan Zeolit:

$$V_{sz} = 18 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$$

$$V_{sz} = 6300 \text{ cm}^3$$

$$V_{sz} = 0,0063 \text{ m}^3$$



a. Gambar saringan Zeolit 1

b. Gambar saringan Zeolit 2

Gambar 4.8 Saringan Zeolit 1 dan 2

Asumsi:

Batu Zeolit dalam saringan terisi penuh dan terdapat rongga akibat batu berbentuk bongkahan maka volume efektif Zeolit pada saringan hanya 60% dari volume total saringan dan berat Zeolit diketahui $571,5 \text{ kg/m}^3$.

Maka volume Zeolit dalam saringan:

$$v_z = V_{sz} \times 60\%$$

$$v_z = 0,0063 \text{ m}^3 \times 60\%$$

$$v_z = 0,00378 \text{ m}^3$$

dan berat Zeolit (B_z):

$$B_z = v_z \times 571,5 \text{ kg/m}^3 \text{ (diketahui)}$$

$$B_z = 0,00378 \text{ m}^3 \times 571,5 \text{ kg/m}^3 = 2,1 \text{ kg}$$

Maka volume limbah pada kolom adsorpsi Zeolit (V_{lkz}):

$$V_{lkz} = v_{kz} - v_z$$

$$V_{lkz} = 0,0135 \text{ m}^3 - 0,00378 \text{ m}^3$$

$$V_{lkz} = 0,00972 \text{ m}^3 \rightarrow (\text{volume rangka saringan diabaikan})$$

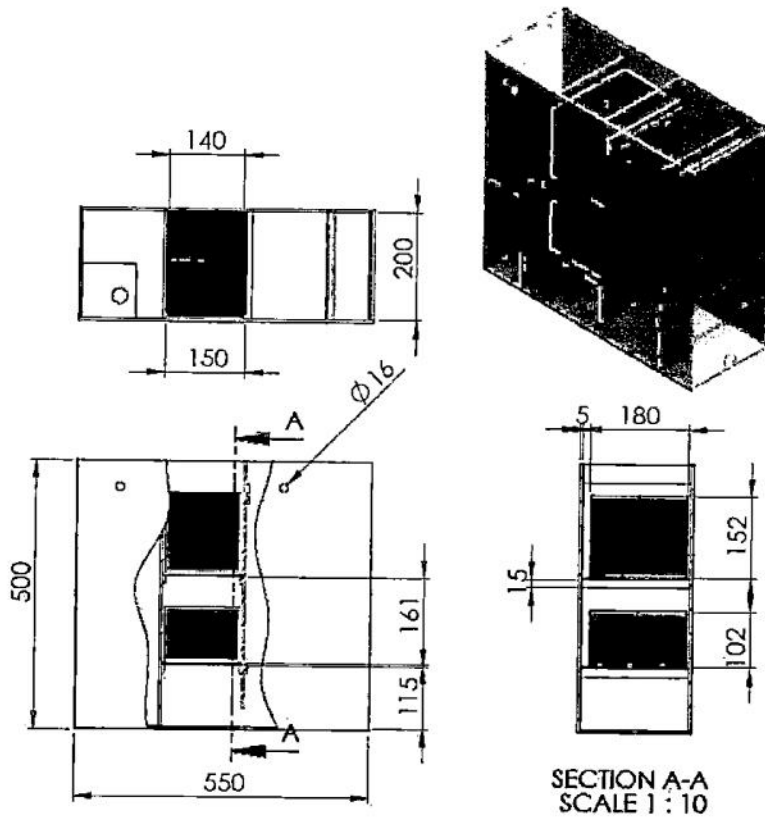
Sehingga berat limbah dan batu Zeolit dalam kolom adsorpsi Zeolit

(B_{lz}):

$$B_{lz} = V_{lkz} \times \rho_{\text{air limbah}} + B_z$$

$$B_{lz} = 0,00909 \text{ m}^3 \times 900 \text{ kg/m}^3 + 2,1 \text{ kg}$$

$$B_{lz} = 10,84 \text{ kg} \rightarrow (\text{berat rangka saringan diabaikan})$$



Gambar 4.9 Kolom Zeolit seksi uji

c) Kolom adsorpsi arang aktif

Karena di dalam kolom arang aktif terdapat saringan dan arang aktif maka volume limbah cair dalam kolom adalah:

$$V_{lka} = v_{ka} - v_a$$

Dengan:

V_{lka} : Volume limbah pada kolom adsorbsi arang aktif

v_{ka} : Volume kolom adsorbsi arang aktif

v_a : Volume arang aktif dalam saringan

Volume kolom adsorbsi arang aktif:

$$v_{ka} = p \times l \times t$$

Dengan :

v_{ka} : Volume kolom adsorbsi arang aktif

p : Panjang alas (direncanakan 20 cm)

l : Lebar alas (direncanakan 15 cm)

t : Tinggi sekat kolom (direncanakan 45 cm)

Maka volume kolom adsorbsi arang aktif:

$$v_{ka} = 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$$

$$v_{ka} = 13500 \text{ cm}^3$$

$$v_{ka} = 0,0135 \text{ m}^3$$

Volume saringan arang aktif:

$$V_{sa} = p \times l \times t$$

Dengan :

V_{sa} : Volume saringan arang aktif

p : Panjang alas saringan (direncanakan 18 cm)

l : Lebar alas saringan (direncanakan 14 cm)

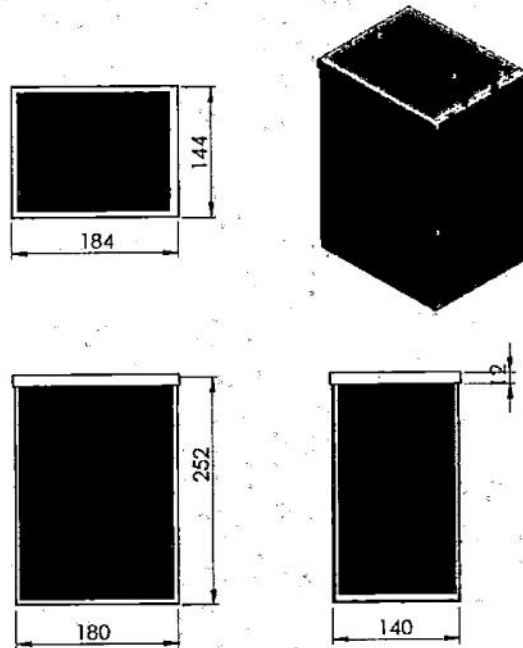
t : Tinggi saringan (direncanakan 25 cm)

Maka volume saringan arang aktif:

$$V_{sa} = 18 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$$

$$V_{sa} = 6300 \text{ cm}^3$$

$$V_{sa} = 0,0063 \text{ m}^3$$



Gambar 4.10 Satu set saringan arang aktif

Asumsi:

Arang aktif dalam saringan terisi penuh dan terdapat rongga akibat ukuran mesh arang maka volume efektif arang aktif pada saringan hanya 90% dari volume total saringan dan berat arang aktif diketahui 142 kg/m^3 .

Maka volume arang aktif dalam saringan:

$$\begin{aligned} v_a &= V_{sa} \times 90\% \\ v_a &= 0,0063 \text{ m}^3 \times 90\% \\ v_a &= 0,00567 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

dan berat arang aktif (B_a):

$$\begin{aligned} B_a &= v_a \times 142 \text{ kg/m}^3 \text{ (diketahui)} \\ B_a &= 0,00567 \text{ m}^3 \times 142 \text{ kg/m}^3 = 0,80 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka volume limbah pada kolom adsorpsi arang aktif (V_{lka}):

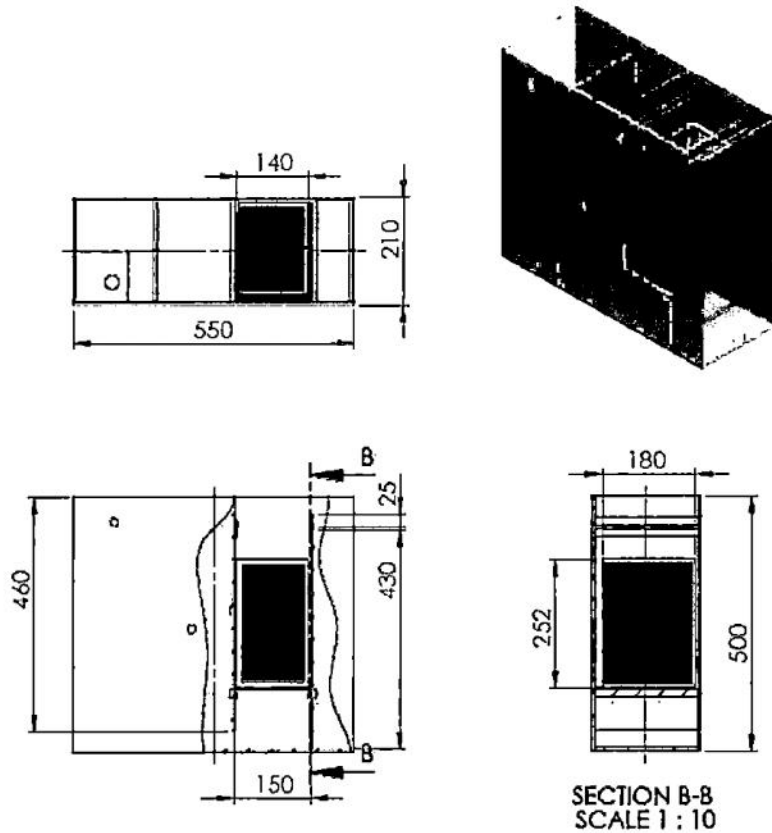
$$\begin{aligned} V_{lka} &= v_{ka} - v_a \\ V_{lka} &= 0,0135 \text{ m}^3 - 0,00567 \text{ m}^3 \\ V_{lka} &= 0,00783 \text{ m}^3 \rightarrow (\text{volume rangka saringan diabaikan}) \end{aligned}$$

Sehingga berat limbah dan arang aktif dalam kolom adsorpsi arang aktif (B_{la}):

$$B_{la} = V_{lka} \times \rho_{\text{air limbah}} + B_a$$

$$B_{la} = 0,00783 \text{ m}^3 \times 900 \text{ kg/m}^3 + 0,80 \text{ kg}$$

$$B_{la} = 7,84 \text{ kg} \rightarrow (\text{berat rangka saringan diabaikan})$$



Gambar 4.11 Kolom adsorpsi arang aktif

d) Kolom filtrasi *sponge*

Karena di dalam kolom filtrasi *sponge* terdapat *sponge* maka volume limbah cair dalam kolom adalah:

$$V_{lks} = v_{ks} - v_s$$

Dengan:

V_{lks} : Volume limbah pada kolom filtrasi *sponge*

v_{ks} : Volume kolom filtrasi *sponge*

v_s : Volume *sponge*

Volume kolom *sponge*:

$$v_{ks} = p \times l \times t$$

Dengan :

- v_{ks} : Volume kolom filtrasi *sponge*
- p : Panjang alas (direncanakan 20 cm)
- l : Lebar alas (direncanakan 8,5 cm)
- t : Tinggi sekat kolom (direncanakan 45 cm)

Maka volume kolom filtrasi *sponge*:

$$v_{ks} = 20 \text{ cm} \times 8,5 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$$

$$v_{ks} = 7650 \text{ cm}^3$$

$$v_{ks} = 0,00765 \text{ m}^3$$

Asumsi:

Karena pada kolom ini aliran langsung diteruskan ke dalam bak penampung akhir maka volume limbah diasumsikan tidak pernah memenuhi volume kolom filtrasi *sponge*, hanya memenuhi 60% total ruang kolom. Ukuran *sponge* direncanakan 8,5 cm x 20 cm dengan tebal *sponge* 4cm dengan berat diabaikan namun volume *sponge* mempengaruhi volume limbah pada kolom filtrasi *sponge* sebesar 30% dari volume *sponge*.

Volume *sponge*:

$$v_s = p \times l \times t$$

Dengan:

- v_s : Volume *sponge*
- p : Panjang *sponge* (direncanakan 20 cm)
- l : Lebar *sponge* (direncanakan 8,5 cm)
- t : Tebal *sponge* (direncanakan 4 cm)

Maka volume *sponge*:

$$v_s = 20 \text{ cm} \times 8,5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$$

$$v_s = 680 \text{ cm}^3$$

$$v_s = 0,00068 \text{ m}^3$$

Maka volume limbah pada kolom filtrasi *sponge* (V_{lks}):

$$V_{lks} = (v_{ks} \times 60\%) - (v_s \times 30\%)$$

$$V_{lks} = (0,00765 \text{ m}^3 \times 60\%) - (0,00068 \text{ m}^3 \times 30\%)$$

$$V_{lks} = 0,00459 \text{ m}^3 - 0,000204 \text{ m}^3$$

$$V_{lks} = 0,004386 \text{ m}^3$$

Sehingga berat limbah dan *sponge* dalam kolom filtrasi *sponge* (B_{lfs}):

$$B_{lfs} = V_{lks} \times \rho_{\text{air limbah}}$$

$$B_{lfs} = 0,004386 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$B_{lfs} = 4,38 \text{ kg} \rightarrow (\text{berat sponge diabaikan})$$

Sehingga berat total limbah (B_{lt}) seluruh kolom:

$$B_{lt} = B_{lkp} + B_{lzs} + B_{la} + B_{lfs}$$

Dengan:

B_{lt} : Berat total limbah (seluruh kolom)

B_{lkp} : Berat limbah dalam kolom pengendapan

$B_{lkp} = 12,15 \text{ kg}$ (diketahui)

B_{lzs} : Berat limbah dan batu Zeolit dalam kolom adsorpsi Zeolit

$B_{lzs} = 10,84 \text{ kg}$ (diketahui)

B_{la} : Berat limbah dan arang aktif dalam kolom adsorpsi arang aktif

$B_{la} = 7,84 \text{ kg}$ (diketahui)

B_{ifs} : Berat limbah dan sponge dalam kolom filtrasi sponge

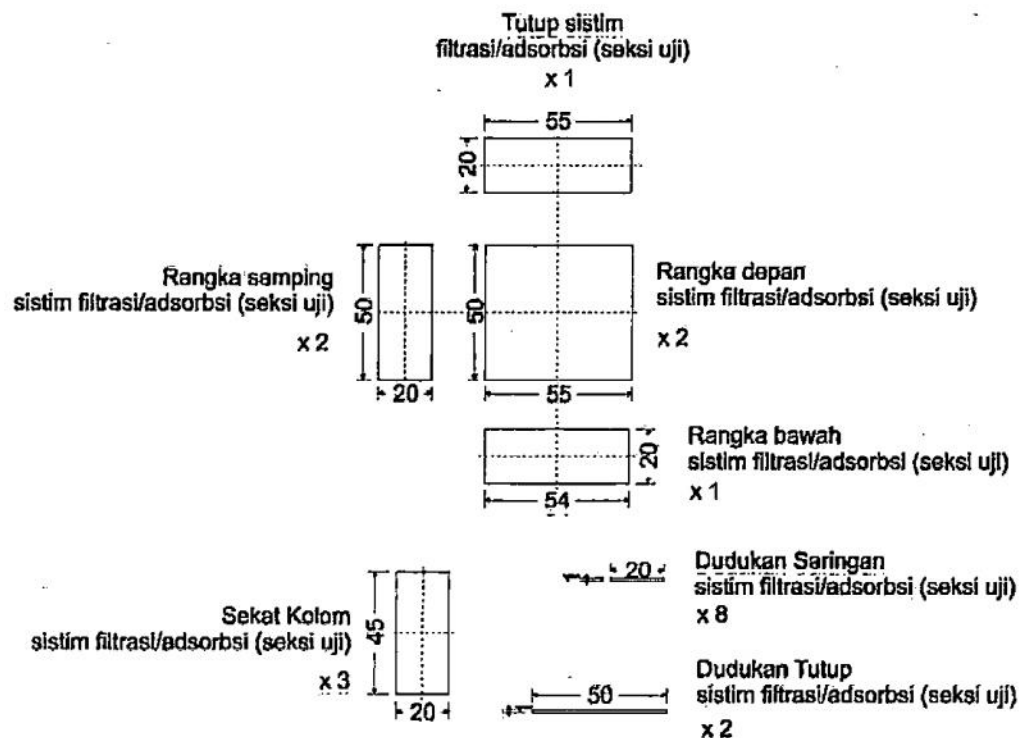
$B_{ifs} = 4,38$ kg (diketahui)

Maka berat total limbah seluruh kolom (B_{lt}) adalah:

$B_{lt} = 12,15$ kg + $10,84$ kg + $7,84$ kg + $4,38$ kg

$B_{lt} = 35,21$ kg.

Dari beban total limbah beserta arang aktif dan zeolit di atas (B_{lt}) = 35,21 kg digunakan untuk pemilihan material sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji) yang aman. Sehingga dipilih bahan akrilik 5mm yang mempunyai kekuatan benturan (*strength impact*) sebesar 12 kg/m² dan dirasa aman untuk kekuatan rangka seksi uji serta pertimbangan kemudahan dalam merangkai dan pembuatan.



Gambar 4.12 Potongan akrilik sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji)

Perhitungan kebutuhan bahan akrilik untuk pembuatan sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji) pada alat penetralisir limbah adalah:

- ✓ Tutup sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = p \times l$$

$$La = 55 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$La = 1100 \text{ cm}^2$$

- ✓ Rangka depan sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = 2 \times p \times l$$

$$La = 2 \times 55 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$$

$$La = 5500 \text{ cm}^2$$

- ✓ Rangka samping sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = 2 \times p \times l$$

$$La = 2 \times 50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$La = 2000 \text{ cm}^2$$

- ✓ Rangka bawah sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = p \times l$$

$$La = 54 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$La = 1080 \text{ cm}^2$$

- ✓ Sekat kolom sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = 3 \times p \times l$$

$$La = 3 \times 45 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$La = 2700 \text{ cm}^2$$

- ✓ Dudukan saringan sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = 8 \times p \times l$$

$$La = 8 \times 20 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$La = 160 \text{ cm}^2$$

- ✓ Dudukan tutup sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji):

$$La = 2 \times p \times l$$

$$La = 2 \times 50 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$La = 100 \text{ cm}^2$$

Luas total akrilik yang dibutuhkan (L_{ta}):

$$L_{ta} = 1100 \text{ cm}^2 + 5500 \text{ cm}^2 + 2000 \text{ cm}^2 + 1080 \text{ cm}^2 + 2700 \text{ cm}^2 + 160 \text{ cm}^2 + 100 \text{ cm}^2$$

$$L_{ta} = 12640 \text{ cm}^2$$

Berat rangka sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji) (B_{rsf}):

$$B_{rsf} = L_{ta} \times \text{berat/cm}^2 \text{ akrilik}$$

$$B_{rsf} = 12640 \text{ cm}^2 \times 0,0006 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow (\text{diketahui})$$

$$B_{rsf} = 7,58 \text{ kg} \rightarrow (\text{Berat lem penyusun rangka diabaikan})$$

Dengan data perhitungan di atas maka dapat dilakukan perhitungan terhadap beban total dari sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji) sebagai berikut :

$$B_{sf} = B_{lt} + B_{rsf}$$

Dengan:

B_{sf} : Berat total sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji)

B_{lt} : Berat total limbah (seluruh kolom)

$B_{lt} = 35,21 \text{ kg}$ (diketahui)

B_{rsf} : Berat rangka sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji)

$B_{rsf} = 7,58 \text{ kg}$ (diketahui)

Maka berat total sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji):

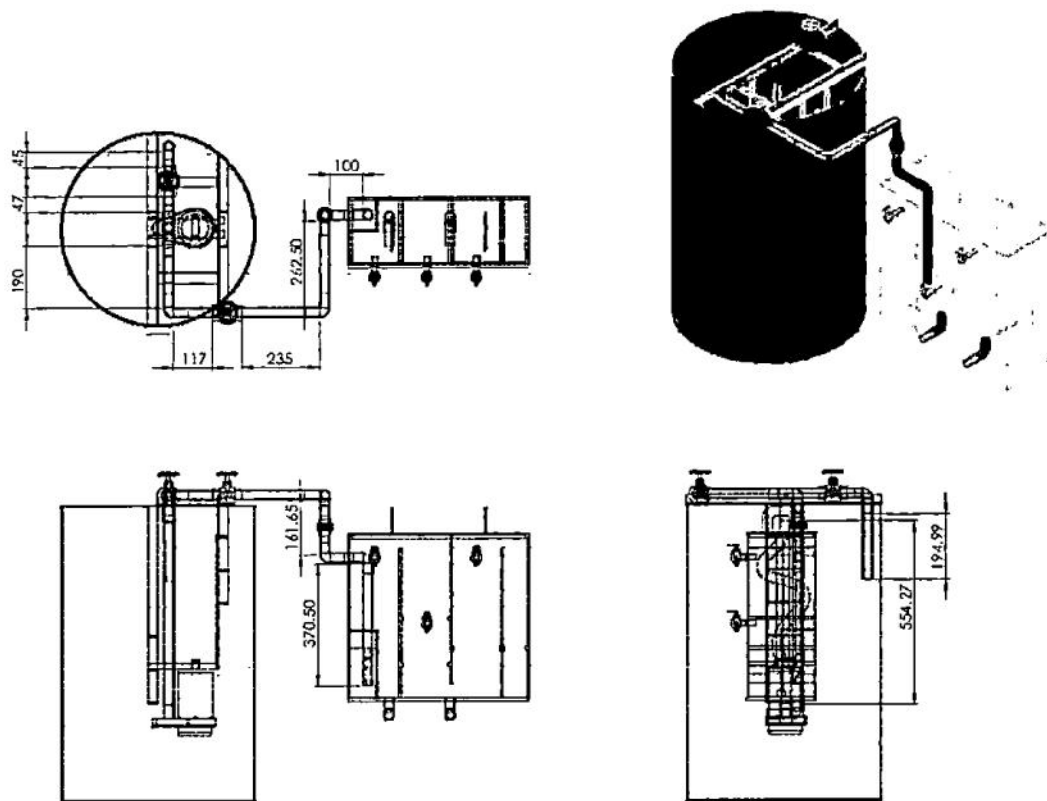
$$B_{sf} = 35,21 \text{ kg} + 7,58 \text{ kg}$$

$$B_{sf} = 42,79 \text{ kg}$$

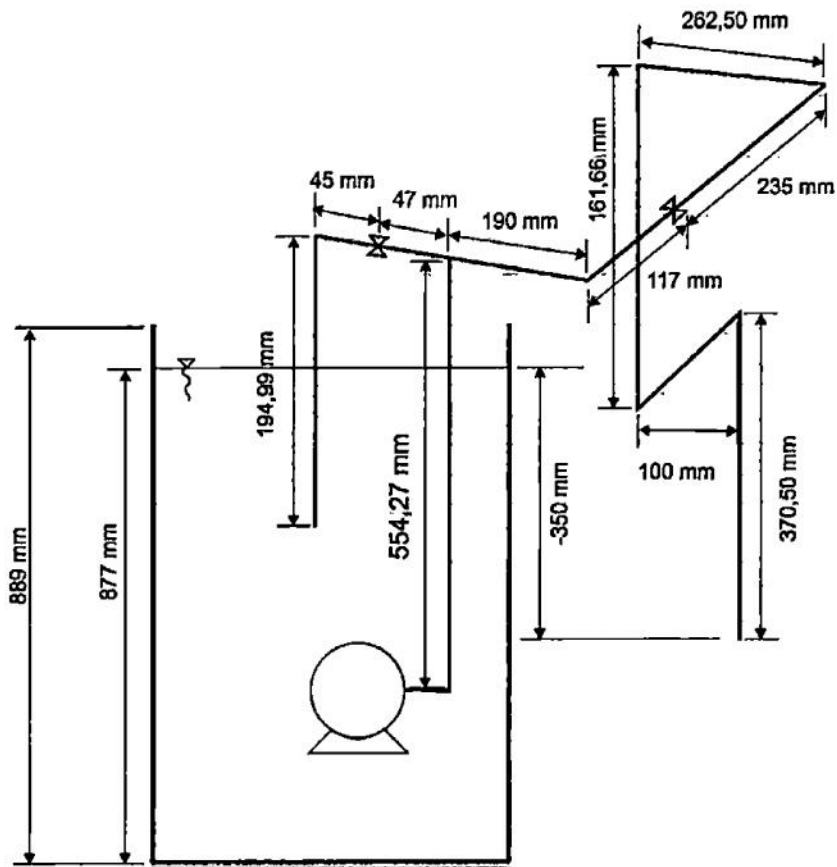
4.2.4 Perhitungan *Head Loss* Instalasi Pipa dan Pemilihan Pompa

Untuk mengalirkan air limbah ke instalasi sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan perhitungan *head loss* pada instalasi rencana, dari perhitungan *head loss* instalasi rencana selanjutnya juga dapat dilakukan pemilihan pompa yang cocok digunakan untuk instalasi alat penetralisir limbah cair batik.

Perhitungan untuk menentukan *head loss* total instalasi pompa adalah sebagai berikut:



Gambar 4.13 Instalasi perpipaan alat penetralisir limbah batik



Gambar 4.14 DBB instalasi perpipaan alat penetralisir limbah

a. *Head* kerugian gesek untuk pipa lurus (h_f mayor)

Diketahui:

$$D = 3/4 \text{ inchi} = 0,019 \text{ m}$$

$$L = 2277,92 \text{ mm} = 2,278 \text{ m}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

$$\lambda = 0,0027 \text{ (Sularso, 1991)}$$

Maka:

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \equiv 0,0027 \frac{2,278 \text{ m} \cdot (0,9^2)}{0,019 \cdot 2 \cdot (9,8)} = 0,013 \text{ m}$$

- b. Kerugian pada satu belokan 90° (h_{f1})

Diketahui:

$$f = 1,129 \text{ (Sularso, 1991)}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

Maka:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 1,129 \frac{(0,9^2)}{2 (9,8)} = 0,046 \text{ m}$$

- c. Kerugian pada sambungan Tee (h_{f2})

Diketahui:

$$f = 1,30 \text{ (Sularso, 1991)}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

Maka:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 1,30 \frac{(0,9^2)}{2 (9,8)} = 0,053 \text{ m}$$

- d. Kerugian pada *ball valve* (h_{f3})

Asumsi: (*fully open ball valve*)

Diketahui:

$$f = 0,05 \text{ (fluid piping system)}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

Maka:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 0,05 \frac{(0,9^2)}{2 (9,8)} = 0,002 \text{ m}$$

e. Kerugian pada *globe valve* (h_{f4})

Asumsi: (*fully open globe valve*)

Diketahui:

$$f = 10 \text{ (fluid piping system)}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

Maka:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 10 \frac{(0,9^2)}{2(9,8)} = 0,414 \text{ m}$$

f. Kerugian pada ujung pipa (h_{f5})

Diketahui:

$$f = 1 \text{ (Sularso, 1991)}$$

$$v = 0,9 \text{ m/s (diasumsikan)}$$

Maka:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 1 \frac{(0,9^2)}{2(9,8)} = 0,044 \text{ m}$$

g. *Head loss* instalasi perpipaan

Diketahui:

$$h_{f \text{ mayor}} = 0,013 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ minor}} : \quad h_{f \text{ minor}1} = 0,046 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ minor}2} = 0,053 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ minor}3} = 0,002 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ minor}4} = 0,414 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ minor}5} = 0,044 \text{ m}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 h_{f \text{ minor}} &= h_{f \text{ minor}1} + h_{f \text{ minor}2} + h_{f \text{ minor}3} + h_{f \text{ minor}4} + h_{f \text{ minor}5} \\
 &= 6 \cdot (0,046) \text{ m} + 1 \cdot (0,053) \text{ m} + 1 \cdot (0,002) \text{ m} + 1 \cdot (0,414) \text{ m} \\
 &\quad + 0,044 \text{ m} \\
 &= 0,789 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ mayor}} + h_{f \text{ minor}} = 0,013 \text{ m} + 0,789 \text{ m} = 0,802 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas didapat *head loss* sistim perpipaan rencana yaitu sebesar 0,802 meter, sehingga untuk perencanaan pemilihan pompa harus memilih pompa dengan dengan *head total* angkat maksimal $> 0,802$ meter agar instalasi dapat bekerja dengan baik dan mengalirkan limbah sesuai dengan yang direncanakan. Maka dipilih pompa *submersible pump* merk Kyodo dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4.15 *Submersible Pump*

Spesifikasi pompa:

<i>Merk</i>	: Kyodo
<i>Power</i>	: 120 Watt
<i>Voltase</i>	: 220 V/50 Hz
<i>Arus</i>	: 2,8 Ampere
<i>Speed</i>	: 2860 Rpm
<i>Head</i>	: 6 meter
<i>Kapasitas</i>	: 50 liter/menit

Dari data spesifikasi pompa dapat dihitung kebutuhan daya pompa yang akan digunakan untuk mengalirkan limbah pada alat penetralisir limbah batik sebagai berikut:

$$P_{sh} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta_e \cdot 1000}$$

Berdasarkan *name plate* spesifikasi pompa diketahui:

P_{sh} : Daya input proses pompa (Watt)

H : *Head* pompa = 6 meter

Q : Kapasitas pompa = 50 liter/menit = 0,0008333 m³/dt

η_e : Kerapatan fluida (karena limbah diamsumsikan 60%)

ρ : Massa jenis fluida = 900 kg/m³ (diketahui)

Untuk kapasitas maksimal sebesar $0,000833 \text{ m}^3/\text{dt}$ maka akan didapatkan daya pompa sebesar:

$$P_{sh} = \frac{0,000833 \frac{\text{m}^3}{\text{dt}} \cdot 6 \text{ m} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,6 \cdot 900}$$

$$P_{sh} = 0,0817 \text{ kW}$$

$$P_{sh} = 81,17 \text{ Watt}$$

4.2.5 Perencanaan Bak Penampung Akhir

Setelah limbah dialirkan ke sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji) maka limbah selanjutnya akan mengalir ke bak penampung akhir. Pada instalasi penampung akhir ini di asumsikan limbah dapat langsung dibuang ke lingkungan, namun karena untuk keperluan uji laboratorium maka dibuat penampungan untuk mengambil sampel air limbah yang akan diujikan di laboratorium. Bak penampung dibuat sederhana namun cukup untuk melakukan pengambilan sampel uji laboratorium yaitu minimal sampel uji 1500 ml. Maka dipilih ember plastik dengan kapasitas 30 liter.

Perhitungan beban pada bak penampung akhir (B_{bp}):

$$B_{bp} = \text{Kapasitas bak} \times \rho_{\text{air limbah}}$$

Diketahui :

$$\text{Kapasitas bak/ember} = 30 \text{ liter} = 0,03 \text{ m}^3 \text{ (diketahui)}$$

$$\rho_{\text{air limbah}} = 900 \text{ kg/m}^3 \text{ (diketahui)}$$

Maka:

$$B_{bp} = \text{Kapasitas bak/ember} \times \rho_{\text{air limbah}}$$

$$B_{bp} = 0,03 \text{ m}^3 \times 900 \text{ kg/m}^3 = 27 \text{ kg}$$

4.2.6 Perhitungan Rangka Alat Penetralsir Limbah Batik

4.2.6.1 Tegangan Sambungan Las pada Rangka

Rangka berfungsi untuk menopang beban dari instalasi pada alat penetralsir limbah, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan rangka yang kuat dan kokoh sehingga aman digunakan untuk menopang instalasi penetralsir limbah. Pada rangka, pengelasan adalah faktor penting yang perlu diperhatikan karena bentuk rangka adalah hasil penyambungan las dari beberapa potongan besi baja. Sehingga dalam pengelasan harus kuat, agar sambungan antar rangka baja tidak patah sewaktu mesin dioperasikan. Tegangan tarik yang diterima sambungan las pada rangka adalah:

Diketahui:

$$P = \text{Gaya/beban}$$

$$P = \text{Berat bak penampung limbah awal} + \text{seksi uji} + \text{bak penampung akhir}$$

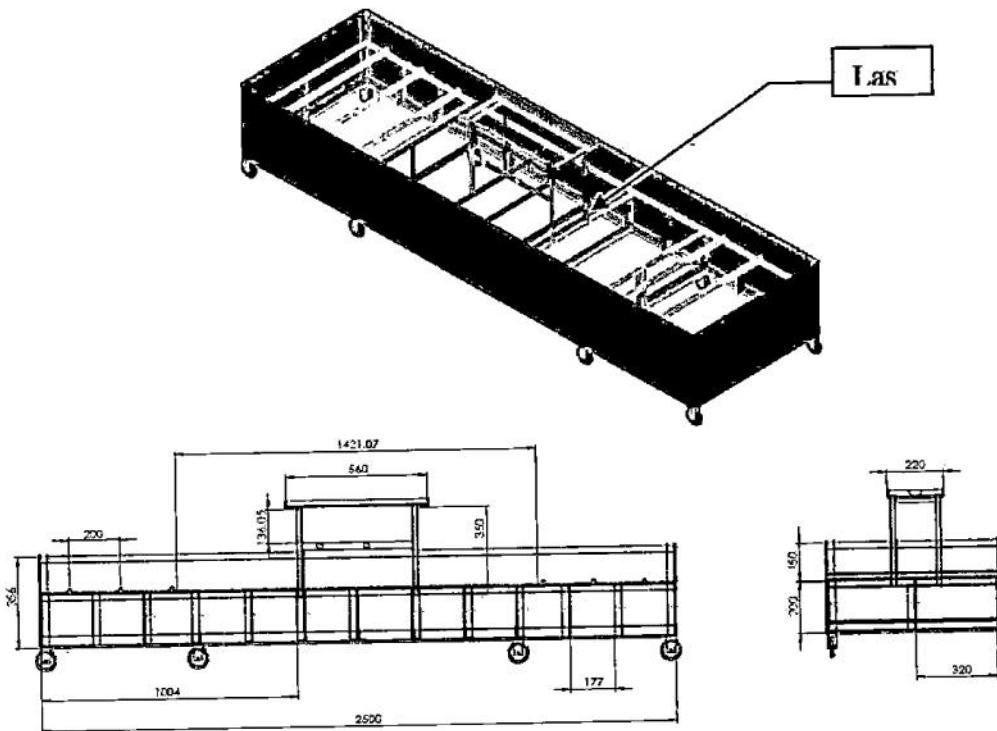
$$P = 200,80 \text{ kg} + 42,63 \text{ kg} + 27 \text{ kg} \quad (1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2)$$

$$P = 270,43 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 2652,92 \text{ N}$$

$$h \text{ (lebar las)} = 6 \text{ mm}$$

$$l \text{ (panjang las)} = 80 \text{ mm (baja siku 4x4)}$$



Gambar 4.16 Pengelasan pada rangka alat penetralisir limbah

Maka tegangan tarik σ_t adalah:

$$\sigma_t = \frac{P}{2 \cdot h \cdot l}$$

$$\sigma_t = \frac{2652,92 \text{ N}}{2 \cdot 6 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm}}$$

$$\sigma_t = 2,77 \text{ kg/mm}^2$$

4.2.6.2 Tegangan Tekuk (*buckling*) pada Rangka

Batang-batang siku pada rangka akan menerima dan menahan beban tekan dari instalasi penetralisir limbah, sehingga mempunyai kemungkinan tertekuk. Maka perlu dipertimbangkan perhitungan mekanika teknik untuk dapat menentukan tegangan tekuk (*buckling*) maksimum (σ_k) dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

Dengan:

σ_k : Tegangan tekuk

E : Modulus elastisitas

λ : Koefisien kerampingan (L_k/i)

$$\lambda = \frac{l}{r}$$

Dengan:

l : Panjang tekuk (mm)

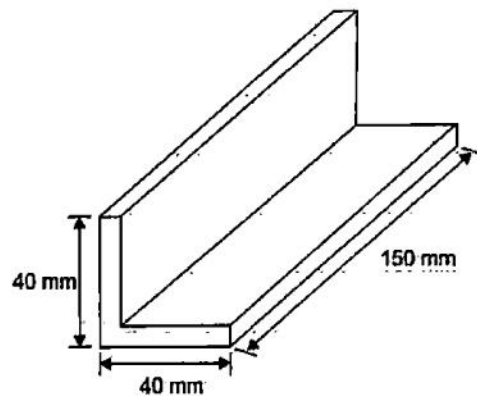
r : Jari-jari (mm)

$$I = \frac{h \cdot b^3}{12}$$

Dengan:

I : Momen inersia polar

A : Luas penampang



Gambar 4.17 Gaya *buckling* pada baja siku

$$I = \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$I = \frac{150 \text{ mm} \cdot (40^3) \text{ mm}}{12}$$

$$I = 800000 \text{ mm}^4$$

Maka :

$$r = \sqrt{\frac{I}{2 \cdot (p \cdot l)}}$$

$$r = \sqrt{\frac{800000 \text{ mm}^4}{2 \cdot (40 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm})}}$$

$$r = 50 \text{ mm}$$

$$l = k \cdot L$$

$$l = 0,7 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$l = 105 \text{ mm}$$

Maka koefisien kerampingannya adalah:

$$\lambda = \frac{l}{r}$$

$$\lambda = \frac{105}{50}$$

$$\lambda = 2,1$$

Tabel 4.1 Harga modulus elastisitas (E)

Bahan	E (N/mm ²)
Baja ST 37	2,1 x 10 ⁵
Baja ST 60	2,1 x 10 ⁵
Baja pegas	2,1 x 10 ⁵
Cor kelabu	1 x 10 ⁵

(G. Nieman, 1999 : 50)

Maka tegangan tekuk adalah:

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^5}{2,1^2}$$

$$\sigma_k = 469981,162 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k = 4,69 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 4.2 Harga tegangan tekuk σ_k

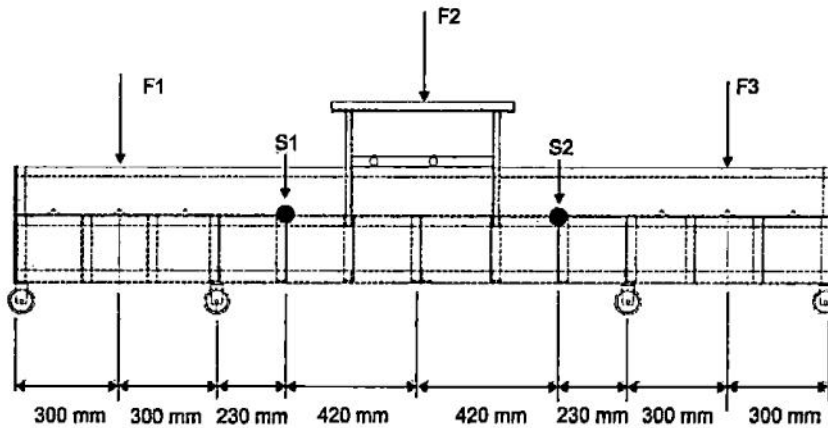
Bahan	σ_k (N/mm ²)
Baja ST 37	20,7 x 10 ⁵
Baja ST 60	20,7 x 10 ⁵
Baja pegas	20,7 x 10 ⁵
Cor kelabu	9,87 x 10 ⁵

(G. Nieman, 1999 : 50)

Besarnya σ_k dihasilkan harus lebih kecil dari tegangan tekuk pada bahan baja ST 37 yang diijinkan. Tegangan tekuk yang terjadi $4,69 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 < 20,7 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$. Sehingga untuk harga di atas, telah memenuhi syarat dalam penentuan rangka yang **baik dan aman**.

4.2.6.3 Tegangan Lentur pada Rangka

Batang-batang pada rangka alat penetralisir selain akan mengalami tekukan (*buckling*) kemungkinan juga akan mengalami lenturan akibat beban instalasi.



Gambar 4.18 Pembebanan rangka statis tertentu

Dari perhitungan sebelumnya didapati besar beban pada bak penampung (F_1), sistim filtrasi (F_2), dan penampung akhir (F_3) sebagai berikut:

$$F_1 = \text{Bak penampung limbah batik } 220,89 \text{ kg}$$

$$F_1 = 200,80 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1969,8 \text{ N}$$

$$F_1 = 1970 \text{ N (dibulatkan ke atas)}$$

$$F_2 = \text{Berat sistim filtrasi/adsorbsi (seksi uji) } 42,79 \text{ kg}$$

$$F_2 = 42,79 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 419,76 \text{ N}$$

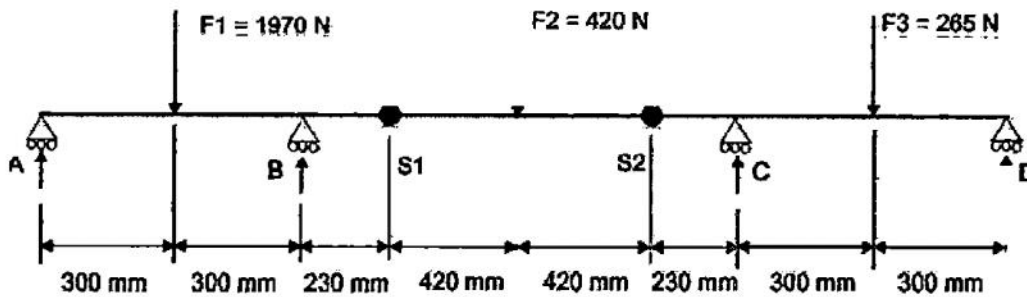
$$F_2 = 420 \text{ N (dibulatkan ke atas)}$$

$$F_3 = \text{Berat penampung akhir limbah } 27 \text{ kg}$$

$$F_3 = 27 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 264,87 \text{ N}$$

$$F_3 = 265 \text{ N (dibulatkan ke bawah)}$$

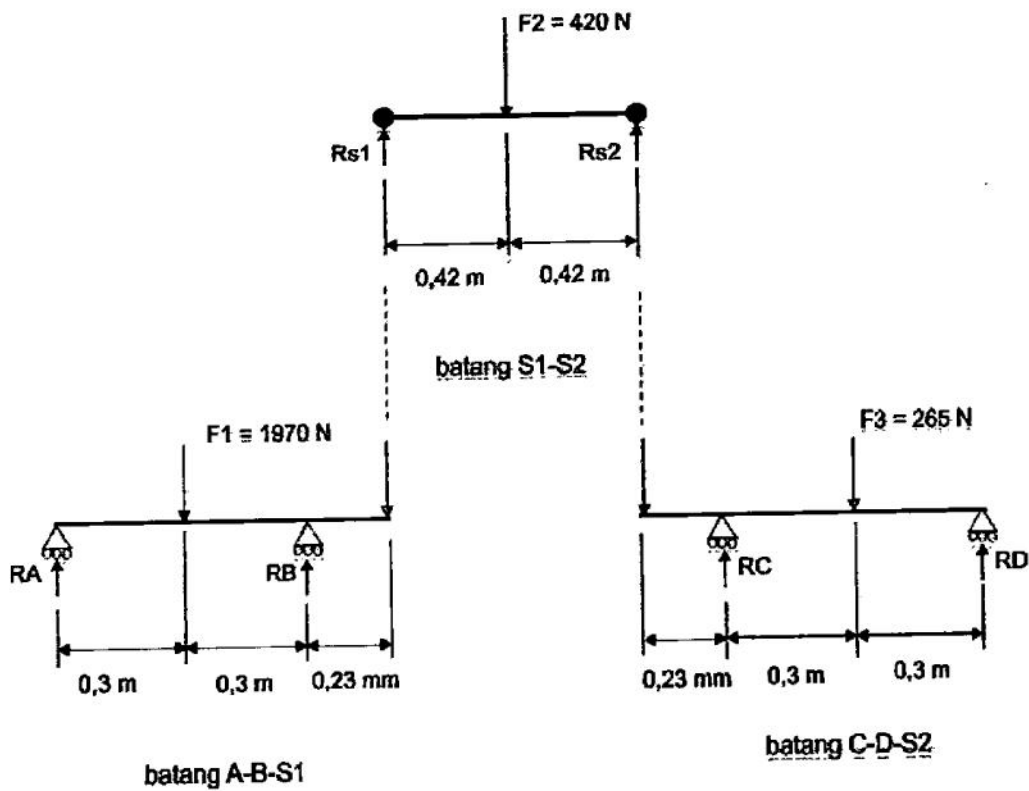
Sehingga penggambaran DBB dari rangka dan pembebanan di atas adalah sebagai berikut, dengan menggunakan asumsi beban adalah terpusat (tidak merata):



Gambar 4.19 *Free Body Diagram* (FBD) rangka alat penetralisir limbah

Penyelesaian:

Langkah pertama adalah menyelesaikan dengan memisah struktur balok tersebut, dan menyelesaikan balok S1-S2 reaksi di S1 akan menjadi beban di batang A-B-S1 dan reaksi S2 akan menjadi beban di batang S2-C-D sehingga batang tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan.



Gambar 4.20 Diagram balok Gerber alat penetralisir limbah

Batang S1-S2:

$$\sum M_{S_1} = 0$$

$$-RS_2 \cdot 0,84 \text{ m} + F_2 \cdot 0,42 \text{ m} = 0$$

$$-RS_2 \cdot 0,84 \text{ m} + 420 \text{ N} \cdot 0,42 \text{ m} = 0$$

$$-RS_2 \cdot 0,84 \text{ m} + 176,4 \text{ Nm} = 0$$

$$RS_2 = \frac{176,4 \text{ Nm}}{0,84 \text{ m}}$$

$$RS_2 = 210 \text{ N}$$

$$\Sigma Ms_2 = 0$$

$$-RS_1 \cdot 0,84 \text{ m} + F_2 \cdot 0,42 \text{ m} = 0$$

$$-RS_1 \cdot 0,84 \text{ m} + 420 \text{ N} \cdot 0,42 \text{ m} = 0$$

$$-RS_1 \cdot 0,84 \text{ m} + 176,4 \text{ Nm} = 0$$

$$RS_1 = \frac{176,4 \text{ Nm}}{0,84 \text{ m}}$$

$$RS_1 = 210 \text{ N}$$

Batang A-B-RS₁:

$$\Sigma MA = 0$$

$$F_1 \cdot 0,3 \text{ m} - RB \cdot 0,6 \text{ m} + RS_1 \cdot 0,83 \text{ m} = 0$$

$$1970 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} - RB \cdot 0,6 \text{ m} + 210 \text{ N} \cdot 0,83 \text{ m} = 0$$

$$591 \text{ Nm} - RB \cdot 0,6 \text{ m} + 174,3 \text{ Nm} = 0$$

$$-RB \cdot 0,6 \text{ m} + 765,3 \text{ Nm} = 0$$

$$RB = \frac{765,3 \text{ Nm}}{0,6 \text{ m}}$$

$$RB = 1275,5 \text{ N}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 0,6 \text{ m} - F_1 \cdot 0,3 \text{ m} + R_{S1} \cdot 0,23 \text{ m} = 0$$

$$R_A \cdot 0,6 \text{ m} - 1970 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} + 210 \text{ N} \cdot 0,23 \text{ m} = 0$$

$$R_A \cdot 0,6 \text{ m} - 591 \text{ Nm} + 48,3 \text{ Nm} = 0$$

$$R_A \cdot 0,6 \text{ m} - 542,7 \text{ Nm} = 0$$

$$R_A = \frac{542,7 \text{ Nm}}{0,6 \text{ m}}$$

$$R_A = 904,5 \text{ N}$$

$$\Sigma M_D = 0$$

$$R_C \cdot 0,6 \text{ m} - F_3 \cdot 0,3 \text{ m} - R_{S1} \cdot 0,83 \text{ m} = 0$$

$$R_C \cdot 0,6 \text{ m} - 265 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} - 210 \text{ N} \cdot 0,83 \text{ m} = 0$$

$$R_C \cdot 0,6 \text{ m} - 79,5 \text{ Nm} - 174,3 \text{ Nm} = 0$$

$$R_C \cdot 0,6 \text{ m} - 253,8 \text{ Nm} = 0$$

$$R_C = \frac{253,8 \text{ Nm}}{0,6 \text{ m}}$$

$$R_C = 423 \text{ N}$$

$$\Sigma MC = 0$$

$$-RD \cdot 0,6 \text{ m} + F_3 \cdot 0,3 \text{ m} - RS_2 \cdot 0,23 \text{ m} = 0$$

$$-RD \cdot 0,6 \text{ m} + 265 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} - 210 \text{ N} \cdot 0,23 \text{ m} = 0$$

$$-RD \cdot 0,6 \text{ m} + 79,5 \text{ Nm} - 48,3 \text{ Nm} = 0$$

$$-RD \cdot 0,6 \text{ m} - 31,2 \text{ Nm} = 0$$

$$RD = \frac{31,2 \text{ Nm}}{0,6 \text{ m}}$$

$$RD = 52 \text{ N}$$

SFD:

$$SFA = RA = 904,5 \text{ N}$$

$$SFF_1 = 904,5 \text{ N} - 1970 = -1065,5 \text{ N}$$

$$SFB = -1065,5 \text{ N} + 1275,5 \text{ N} = 210 \text{ N}$$

$$SFF_2 = 210 \text{ N} - 420 \text{ N} = -210 \text{ N}$$

$$SFC = -210 \text{ N} + 423 \text{ N} = 213 \text{ N}$$

$$SFF_3 = 213 \text{ N} - 265 \text{ N} = -52 \text{ N}$$

BMD:

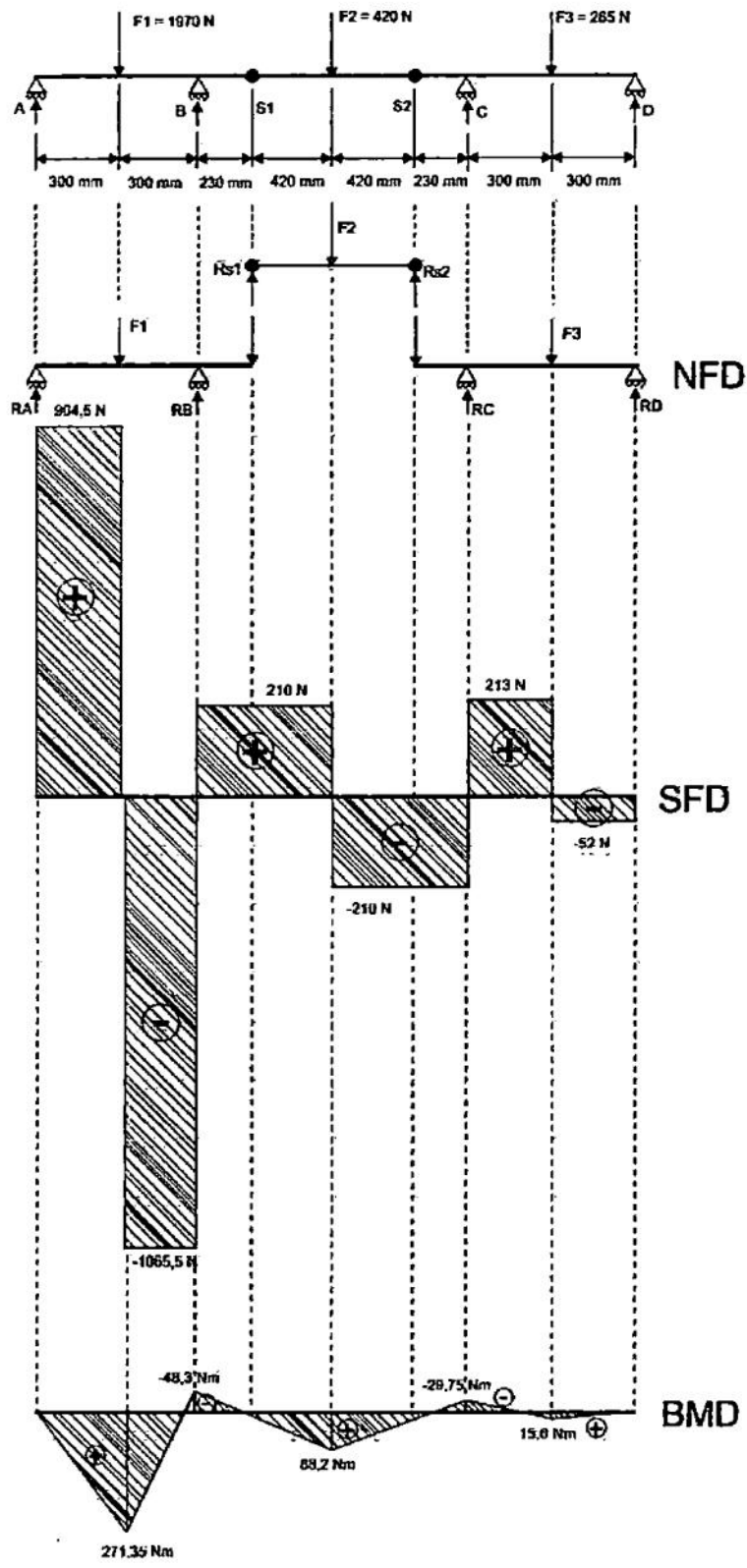
$$MF_1 = RA \cdot 0,3 \text{ m} = 904,5 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = 271,35 \text{ Nm}$$

$$MB = RA \cdot 0,6 \text{ m} - F_1 \cdot 0,3 \text{ m} = 904,5 \text{ N} \cdot 0,6 \text{ m} - 1970 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = -48,3 \text{ Nm}$$

$$MF_2 = RS_1 \cdot 0,42 \text{ m} = 210 \text{ N} \cdot 0,42 \text{ m} = 88,2 \text{ Nm}$$

$$MC = RD \cdot 0,6 \text{ m} - F_3 \cdot 0,23 \text{ m} = 52 \text{ N} \cdot 0,6 \text{ m} - 265 \text{ N} \cdot 0,23 \text{ m} = -29,75 \text{ Nm}$$

$$MF_3 = RD \cdot 0,3 \text{ m} = 52 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = 15,6 \text{ Nm}$$



Gambar 4.21 Diagram NFD, SFD, dan BMD rangka alat penetralisir limbah

Tegangan lentur pada rangka adalah:

$$\sigma_k = \frac{M \cdot y}{I}$$

Dengan:

σ_k : Tegangan lentur

M : Momen maksimal

M = 271,35 Nm = 271350 Nmm (diketahui)

y : Lebar baja siku (4 x 4) (diketahui)

y = 4 cm = 40 mm

I : Momen inersia polar

I = 800000 mm⁴ (diketahui)

Maka,

$$\sigma_k = \frac{271350 \text{ Nmm} \cdot 40 \text{ mm}}{800000 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_k = 13,56 \text{ N/mm}^2$$

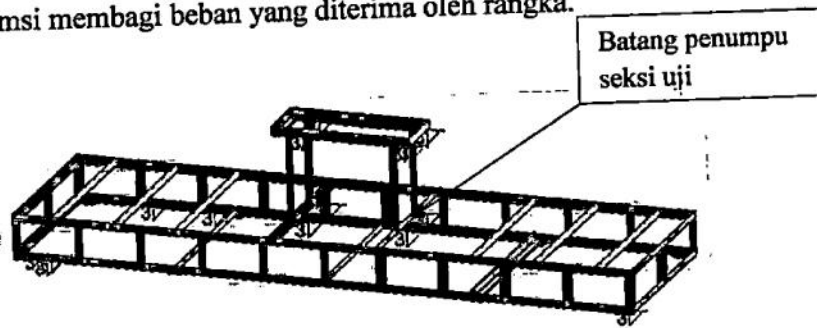
Besarnya tegangan lentur σ_k dihasilkan harus lebih kecil dari tegangan pada baja siku 4x4 (bahan ST 37) dengan tegangan yang diijinkan 37 N/mm², maka : **13,56 N/mm² < 37 N/mm²**. Sehingga untuk harga di atas telah memenuhi syarat dalam penentuan rangka yang **baik dan aman**.

4.2.6.4 Analisa Rangka dengan Software Engineering

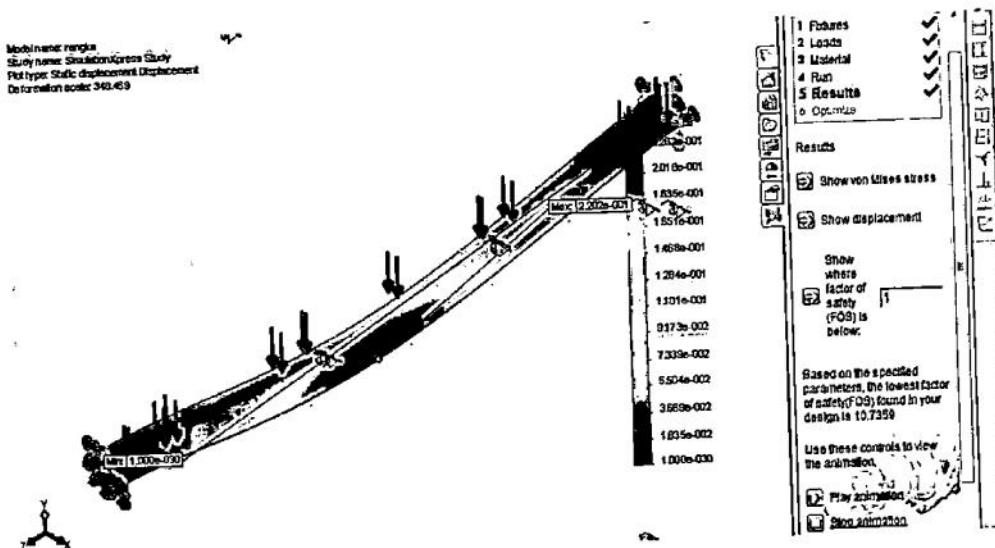
Analisa pemodelan pembebanan pada rangka akibat beban yang diterima alat penetralisir limbah dilakukan untuk mendapat gambaran lokasi kritis akibat pembebanan dan mempermudah dalam menganalisa faktor keamanan rangka alat. Analisa pembebanan hanya dilakukan pada bagian tertentu dari rangka.

1. Analisa pada bagian batang penumpu seksi uji.

Batang penumpu seksi menerima gaya tekan yang besar menurut perhitungan beban, sehingga perlu dilakukan analisa terhadap keamanan profil rangka penumpu batang seksi uji. Analisa dilakukan pada salah satu batang dengan asumsi membagi beban yang diterima oleh rangka.



Gambar 4.22 Batang penumpu seksi uji



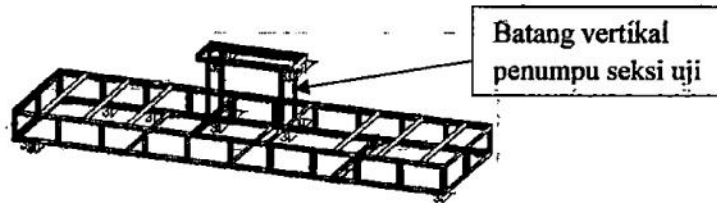
Gambar 4.23 Analisa batang penumpu seksi uji

Analisa:

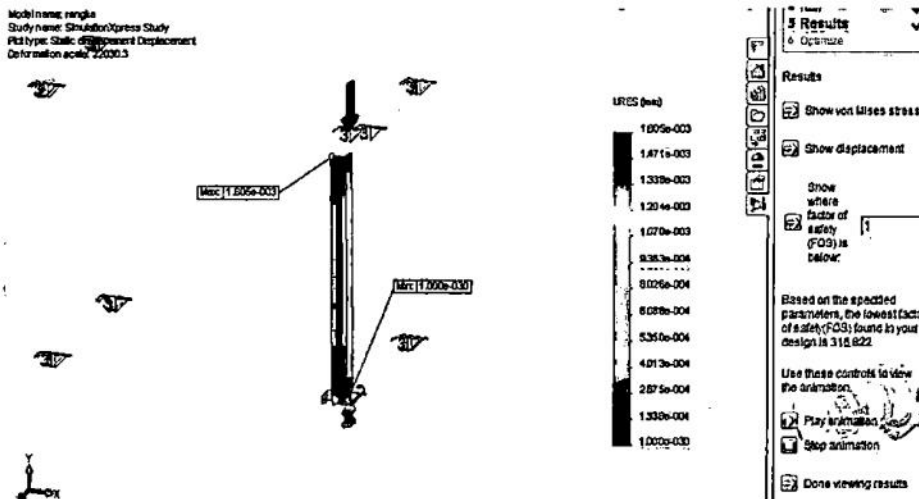
Pada simulasi dipilih salah satu batang dari penumpu seksi uji dengan asumsi penerimaan beban adalah $1/2 \times 418 \text{ N}$ (beban total seksi uji) = 209 N, penggunaan material simulasi adalah baja ST 37. Dari hasil simulasi diketahui nilai *safety factor* (FOS) sebesar 10,7 yang artinya bahwa rangka part tersebut mampu menerima beban sebesar 10,7 kali dari beban yang ditentukan (209 N). Adapun titik kritis ditunjukkan dengan warna merah. Pada area tersebut akan rawan patah jika diberikan beban melebihi batas maksimal yaitu $10,7 \times 209 \text{ N}$. Dari analisa di atas maka **rangka dinyatakan memenuhi syarat dan aman untuk digunakan dengan syarat beban tidak melebihi batas maksimalnya.**

2. Analisa pada batang vertikal penumpu seksi uji

Batang vertikal penumpu seksi uji dimungkinkan terjadi tekukan/*buckling* dikarenakan pembebanan seksi uji, sehingga perlu dilakukan analisa pada batang tersebut.



Gambar 4.24 Batang vertikal penumpu seksi uji



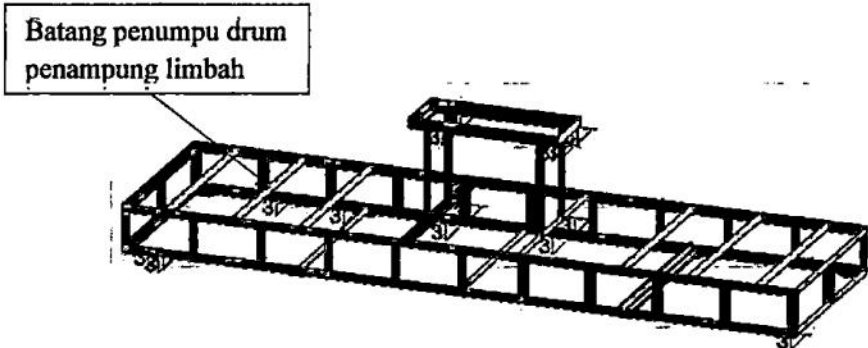
Gambar 4.25 Analisa batang vertikal penumpu seksi uji

Analisa:

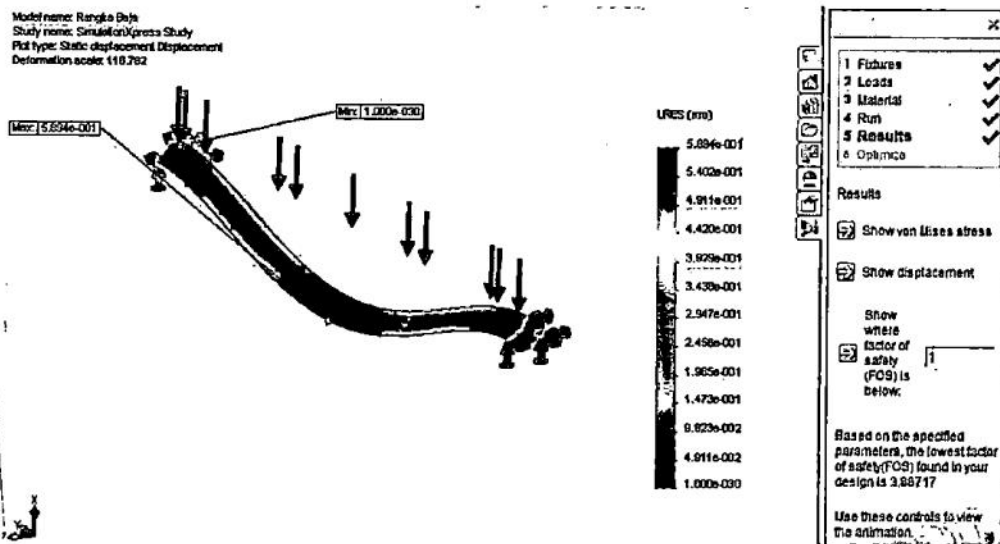
Pada simulasi dipilih salah satu batang dari batang vertikal penumpu seksi uji dengan asumsi penerimaan beban adalah $1/4 \times 418 \text{ N}$ (beban total seksi uji) = 104.5 N , penggunaan material simulasi adalah baja ST 37. Dari hasil simulasi diketahui nilai *safety factor* (FOS) sebesar 316,8 yang artinya bahwa rangka part tersebut mampu merima beban sebesar 316,8 kali dari beban yang ditentukan (104.5 N). Adapun titik kritis ditunjukkan dengan warna merah. Pada area tersebut akan rawan patah jika diberikan beban melebihi batas maksimal yaitu $316,8 \times 104,5 \text{ N}$. Dari analisa di atas maka **rangka dinyatakan memenuhi syarat dan aman untuk digunakan dengan syarat beban tidak melebihi batas maksimalnya.**

3. Analisa pada batang penumpu drum penampung limbah

Batang penumpu drum bak penampung limbah dimungkinkan terjadi lenturan maupun regangan akibat pembebanan yang cukup besar dari beban limbah dan drum penampung sehingga perlu dilakukan analisa terhadap penggambaran pembebanan pada batang penumpu drum penampung.



Gambar 4.26 Batang penumpu drum penampung limbah



Gambar 4.27 Analisa batang penumpu drum penampung limbah

Analisa:

Pada simulasi dipilih salah satu dari tiga batang penumpu drum penampung limbah cair batik dengan asumsi penerimaan beban adalah $\frac{1}{3} \times 1970 \text{ N}$ (beban total seksi uji) = 656,67 N, penggunaan material simulasi adalah baja ST 37. Dari hasil simulasi diketahui nilai *safety factor* (FOS) sebesar 3,8 yang artinya bahwa rangka part tersebut mampu menerima beban sebesar 3,8 kali dari beban yang ditentukan (656,67 N). Adapun titik kritis ditunjukkan dengan warna merah. Pada area tersebut akan rawan patah jika diberikan beban melebihi batas maksimal yaitu $3,8 \times 656,67 \text{ N}$. Dari analisa di atas maka **rangka dinyatakan memenuhi syarat dan aman untuk digunakan dengan syarat beban tidak melebihi batas maksimalnya.**

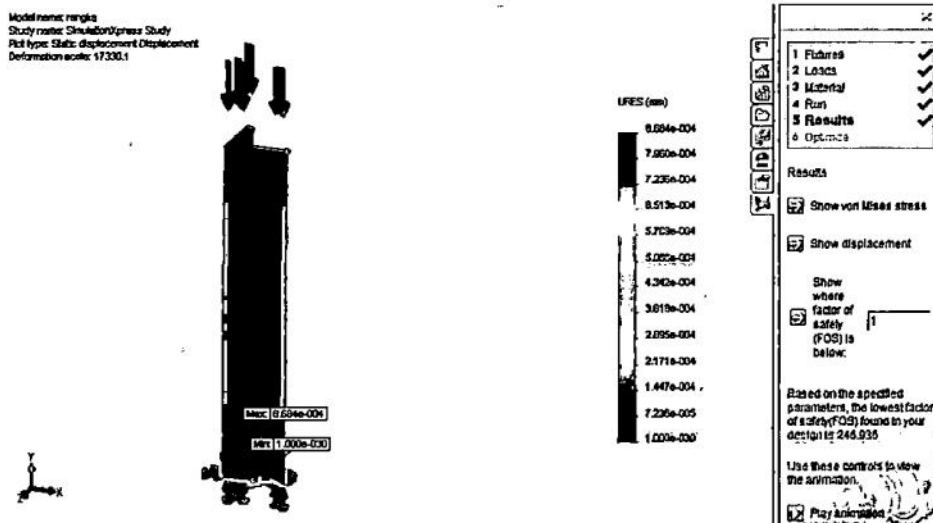
4. Analisa pada batang vertikal rangka alat penetralisir limbah

Batang vertikal rangka alat penetralisir limbah dimungkinkan terjadi tekukan/*buckling* dikarenakan pembebanan pada drum penampung limbah, seksi uji, dan bak penampung akhir. Sehingga perlu dilakukan analisa pada batang tersebut. Namun dalam analisa perhitungan hanya dilakukan pada salah

satu bagian batang vertikal dengan asumsi hanya menerima beban dari pembebanan di atasnya.



Gambar 4.28 Batang vertikal pada lokasi pembebanan drum penampung



Gambar 4.29 Analisa batang vertikal pada lokasi pembebanan drum penampung

Analisa:

Pada simulasi dipilih salah satu dari sembilan batang vertikal penumpu drum penampung limbah cair batik dengan asumsi penerimaan beban adalah $1/9 \times 1970 \text{ N}$ (beban total seksi uji) = 219 N, penggunaan material simulasi adalah baja ST 37. Dari hasil simulasi diketahui nilai *safety factor* (FOS) sebesar 246,9 yang artinya bahwa rangka part tersebut mampu merima beban sebesar 246,9 kali dari beban yang ditentukan (219 N). Adapun titik kritis ditunjukkan dengan warna merah. Pada area tersebut akan rawan patah jika diberikan beban melebihi batas maksimal yaitu $246,9 \times 219 \text{ N}$. Dari analisa di atas maka rangka dinyatakan memenuhi syarat dan aman untuk digunakan dengan syarat beban tidak melebihi batas maksimalnya.

4.3 Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan Alat dan Pengujian Karakteristik

Bahan yang digunakan untuk pembuatan prototipe alat penetralisir limbah cair batik dan uji karakteristik alat seperti pada tabel berikut :

4.3.1 Daftar Bahan dan Komponen Untuk Membuat Alat Penetralsir Limbah Batik

Tabel 4.3 Bahan untuk pembuatan alat uji penetralisir limbah batik

NO	URAIAN	JUMLAH	SATUAN
1	Drum kaleng 100 liter	1	buah
2	Pipa paralon PVC ¾" inc	2	batang
3	Besi siku angle 40 x 40 mm	5	batang
4	Besi siku lobang 50 x 50 mm	1	batang
5	Besi siku angle lubang 20 x 20 mm	1	batang
6	Besi batangan ST 7137	1	kg
7	Besi plat	4	kg
8	Plat strip 1"x5 mm	4	kg
9	Seng talang	2,5	meter
10	Paku liflet	100	biji
11	Roda troli 3" (roda putar hidup)	4	buah
12	Ember cuci	1	buah
13	Pompa celup Kyodo SP 120	1	buah
14	Tee ¾" inc	1	buah
15	L bow ¾" inc	11	buah
16	Ball valve 3/4 PVC	4	buah
17	Globe valve ¾" inc	1	buah
18	Valve socket ¾" inc	4	buah
19	Water mur ¾" inc	1	buah
20	Selang air transparant 1" inc	1	meter
21	Selang air transparant 5/8" inc	2,5	meter
22	Klem selang 5/8" inc	2	buah
23	Klem selang 1" Inc	2	buah
24	Fitting double nipple ¾" Inc	2	buah
25	Akrilik tebal 5 mm ukuran 196 x 90 cm	1	lembar
26	Stop kran dispenser	3	buah
27	Saringan mesh 80 ukuran 100 x 50 cm	1	lembar
28	Stop kontak + saklar merk dexicon	1	buah
39	Saringan aquarium	1	buah

Tabel 4.4 Bahan pendukung dan habis pakai

NO	URAIAN	JUMLAH	SATUAN
1	Lem akrilik	1	botol
2	Lem paralon	1	kaleng
3	Lem akuarium sealent 35 gr	4	buah
4	Lem plastik steel 48 gr	2	buah
5	Seal tape 10 m	2	buah
6	Elektroda las 3 mm	1	pak
7	Cat minyak warna abu-abu	1/2	kg

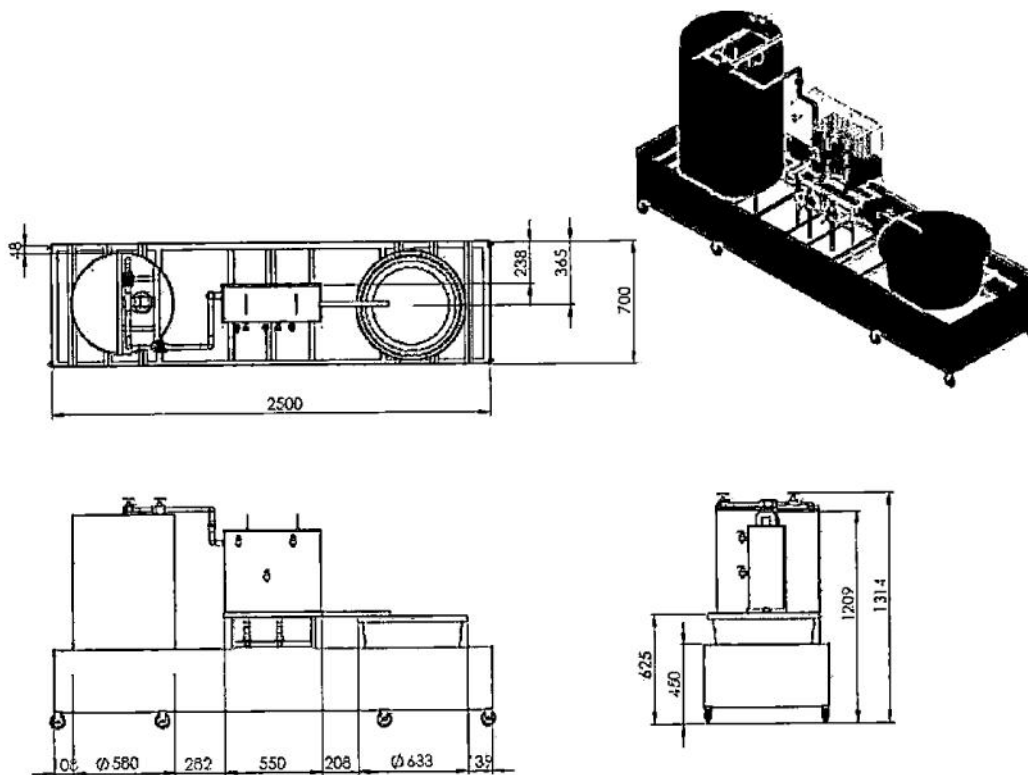
4.3.2 Bahan Pengujian Karakteristik Alat

Tabel 4.5 Bahan pengujian karakteristik alat uji penralisir limbah batik

NO	URAIAN	JUMLAH	SATUAN
1	Sampel limbah batik	100	liter
2	Arang aktif	3	kg
3	Batu zeolit	20	kg
4	Botol plastik	5	buah
5	Stopwacth	1	buah
6	Kamera	1	buah

4.4 Proses Pembuatan dan Perakitan Alat Penetralisir Limbah

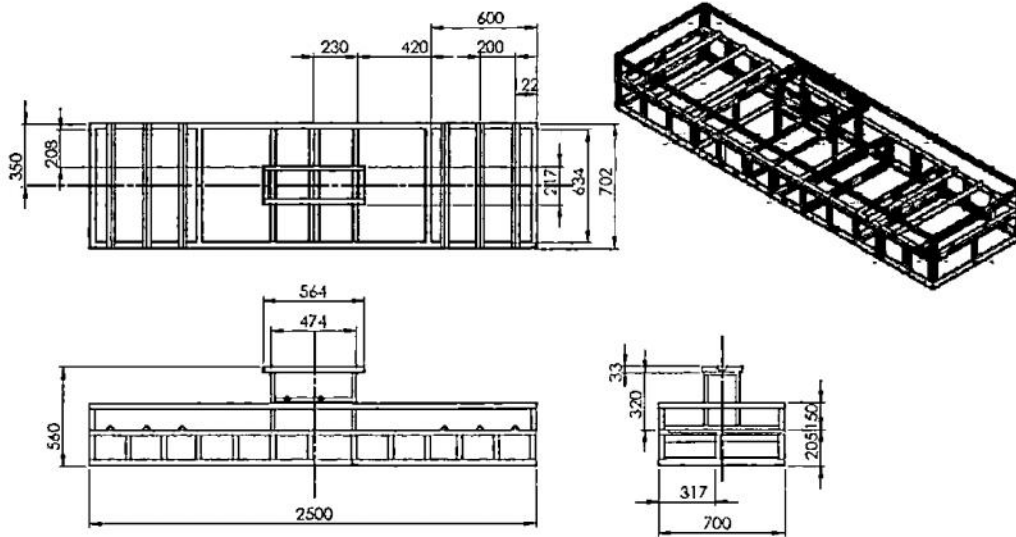
Pada proses pembuatan alat terbagi ke dalam tiga proses utama yaitu; pembuatan sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji); pembuatan rangka utama untuk menopang instalasi; dan merangkai drum bak penampung limbah dan instalasi perpipaannya. Setelah ketiga instalasi tersebut selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah proses perakitan dan *finishing* sebelum dilakukan uji coba pada alat. Berikut adalah gambar rancangan alat penetralisir limbah dengan menggunakan metode adsorpsi arang aktif dan Zeolit.



Gambar 4.30 Alat penetralisir limbah cair batik metode adsorpsi arang aktif dan Zeolit

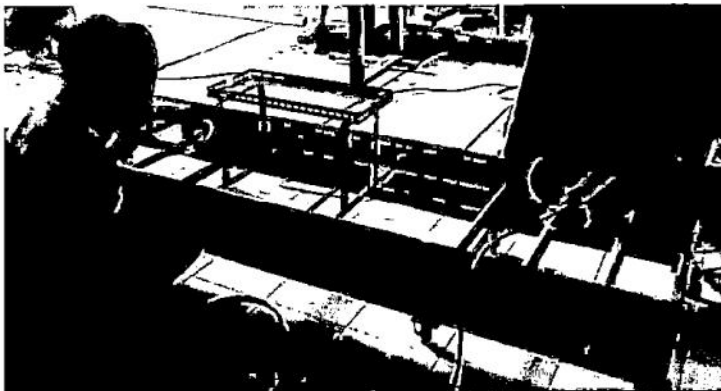
4.4.1 Proses Pembuatan Rangka

Pada proses perakitan rangka ini sesuai dengan rancangan digunakan bahan utama yaitu besi siku 40 x 40 mm ST 37, besi siku 20 x 20 mm, besi batang ST 7137, serta bahan pendukung lainnya. Proses yang dilakukan pertama adalah pemotongan bahan sesuai dengan gambar rencana rangka, berikut adalah gambar rencana rangka:



Gambar 4.31 Rangka alat penetralsir limbah

Setelah proses pemotongan bahan selesai proses selanjutnya adalah penyambungan dan merangkai besi dengan menggunakan las las listrik. Karena besi berukuran tebal kira-kira 4mm maka saat pengelasan menggunakan arus 60 – 65 Ampere untuk menghindari terjadinya leleh dan lubang pada besi siku jika arus terlalu besar. Pada proses pengelasan posisi besi yang akan dilas di sejajarkan atau disiku dengan baik maka perlu digunakan alat penggaris besi siku. Proses pengelasan pertama cukup di titik terlebih dahulu, setelah lasan benar sesuai gambar dan posisinya baru diperkuat kembali lasan dengan dilas kembali. Berikut adalah gambar proses saat pengelasan rangka alat.



Gambar 4.32 Proses pengelasan

Setelah proses pengelasan selesai proses selanjutnya adalah dilakukan pengecatan untuk menghindari korosi pada rangka. Setelah proses pengecatan selesai maka selanjutnya adalah proses *finishing* yaitu pemasangan roda pada kaki-kaki alat dan pemasangan plat aluminium seng untuk penutup rangka.



Gambar 4.33 Proses pengecatan

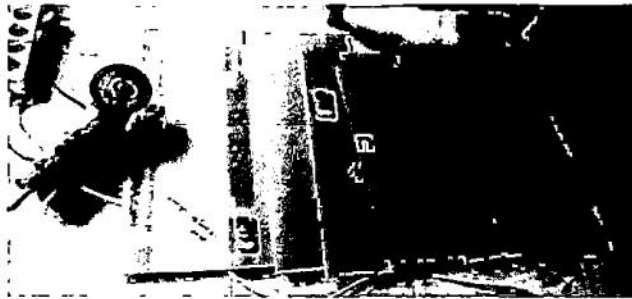


Gambar 4.34 Proses pemasangan plat penutup rangka

4.4.2 Proses Pembuatan Sistem Filtrasi/Adsorpsi (Seksi Uji)

Bahan utama untuk membuat sistem filtrasi/adsorpsi (seksi uji) alat penetralisir limbah adalah menggunakan bahan akrilik bening 5 mm. Proses pembuatan dimulai dari pemotongan akrilik sesuai dengan ukuran dan rencana seperti pada Gambar 4.9 Potongan akrilik sistem filtrasi/adsorpsi (seksi uji). Setelah akrilik dipotong dan dilubangi sesuai dengan rencana gambar maka dilakukan proses merangkai plat akrilik dengan pengeleman menggunakan lem

khusus akrilik. Setelah dilakukan pengeleman dengan lem akrilik seksi uji dilem kembali menggunakan lem *sealent* atau lem akuarium untuk menghindari kebocoran pada sistim. Berikut adalah proses perakitan dan pengeleman sistim filtrasi/adsorpsi (seksi uji):



Gambar 4.35 Proses pemotongan akrilik dengan gerinda tangan



Gambar 4.36 Proses perakitan dan pengeleman

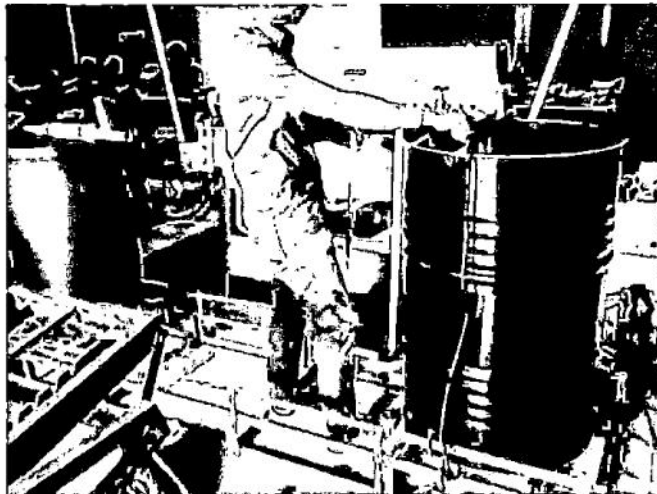
4.4.3 Proses Pembuatan Instalasi Bak Penampung dan Perpipaan

Proses pelubangan drum dimaksudkan untuk membuat lubang buang pada drum penampung limbah yang berfungsi sebagai tempat mengambil sampel uji awal limbah setelah diendapkan dan juga untuk proses pembuangan bila drum akan dibersihkan. Pelubangan pertama menggunakan las, dan selanjutnya

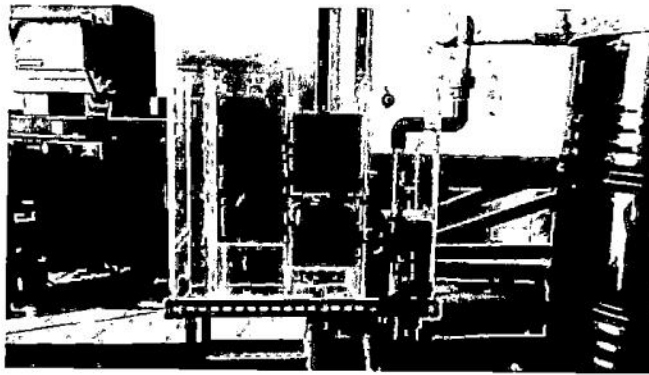
dirapikan menggunakan kikir bulat. Setelah pelubangan drum selesai maka selanjutnya dibuat dudukan pompa, dudukan pompa ini berfungsi sebagai pengatur level pompa pada drum penampung limbah, karena alat memakai pompa jenis *submersible pump*. Setelah drum, rangka, dan seksi uji selesai dibuat maka proses selanjutnya adalah merangkai komponen tersebut serta merangkai sistim perpipaannya, berikut adalah prosesnya:



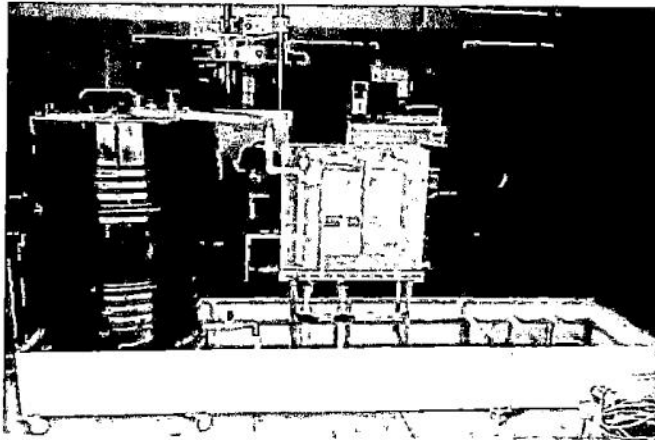
Gambar 4.37 Dudukan pompa celup



Gambar 4.38 Proses merangkai sistim perpipaan



Gambar 4.39 Sistim perpipaan



Gambar 4.40 Alat penetralsir limbah batik