

UJI PERFORMA *PORTABLE VACUUM GRAIN CONVEYOR* TIPE *CENTRIFUGAL FAN*

Dedi Suwandi^{1,*}, Tito Endramawan¹, Reza Prasetya Palepi¹, Dwi Setiadi Wibowo¹,
Alfarisi¹, Adi Suheryadi², Felix Dionisius¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Indramayu

²Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Indramayu

*e-mail: dedi@polindra.ac.id

Abstrak

Portable vacuum grain conveyor (PVGC) berfungsi sebagai pengangkut material biji-bijian seperti gabah, gandum, sorgum, jagung dan sejenisnya menggunakan media udara. Kelebihan mesin ini dapat memindahkan material dengan cepat, material tidak jatuh kedalam proses pengangkutan, mampu memindahkan dari posisi bawah ke atas atau sebaliknya, tidak membutuhkan penampung awal, dan mesin dapat berpindah tempat. Cara kerja mesin *PVGC* dengan memanfaatkan daya hisap dan daya dorong *vacuum blower*. Material biji dihisap oleh selang *input* kemudian masuk menuju *cyclone* untuk memisahkan udara dan material biji. Udara dari *cyclone* masuk menuju *vacuum blower* melalui lubang input dan ditiup pada saluran output untuk mendorong material yang jatuh dari *cyclone* melalui *rotary air lock*. Material biji keluar melalui selang *output* menuju arah yang diinginkan. Pengujian performa dari mesin *PVGC* meliputi pengujian kebisingan, pengujian kecepatan hisap udara pada selang *input* dan kecepatan dorong pada selang *output*, pengujian kapasitas mesin dan pengujian *thermal*. Hasil pengujian kebisingan tertinggi pada bagian motor listrik *vacuum blower* sebesar 95,5 dBA \pm 1, kecepatan udara hisap pada selang input 38 m/s \pm 3, kecepatan udara dorong pada selang output 44 m/s \pm 2, kapasitas mesin *PVGC* mampu mengangkut gabah jenis IR64 seberat 88 kg/menit \pm 5kg. Komponen terpanas terdapat pada bagian *vacuum blower* dengan suhu 52,5°C.

Kata Kunci: *vacuum conveyor, conveyor pneumatic, centrifugal fan*

Abstract

Portable vacuum grain conveyor (PVGC) work as transporting grain materials such as grain, wheat, sorghum, corn and its kind using air media. The advantages of this machine are that it can move material quickly, the material does not fall in the transportation process, it can move from the bottom to the top or vice versa, it does not require a feed hopper, and the machine can move places. How the *PVGC* machine works by utilizing the suction and thrust of a *vacuum blower*. The seed material is sucked in by the input hose and then into the cyclone to separate the air and seed material. Air from the cyclone enters the *vacuum blower* through the input hole and is blown into the output line to push the material falling from the cyclone through the *rotary airlock*. Seed material out through the output hose is directed to the desired place. Performance testing of the *PVGC* engine includes noise, the air suction speed of the input hose and the thrust speed of the output hose, the engine capacity, and thermal testing. The highest noise test results in the electric *vacuum blower* motor was 95.5 dBA \pm 1, the air suction speed at the input hose was 38 m/s \pm 3, the air thrust speed at the output hose was 44 m/s \pm 2, the capacity of the *PVGC* machine could transport IR64 of grain type with weighing 88 kg/minute. The hottest component was in the *vacuum blower* with a temperature of 52.5°C.

Keywords: *vacuum conveyor, conveyor pneumatic, centrifugal fan*

I. PENDAHULUAN

Dari tahun 2018 sampai 2021 kabupaten Indramayu menjadi sentra pangan pertama tingkat nasional dengan produksi 1,4 juta gabah kering (Pemerintah Kabupaten Indramayu, 2022). Sentra produksi penggilingan padi di kabupaten Indramayu tersebar pada beberapa kecamatan seperti kecamatan Haurgeulis, Widasari dan Kandanghaur. Masalah yang dihadapi industri penggilingan padi diantaranya penjemuran, proses pengilingan dan pengangkutan.

Pada proses pengangkutan/ pemindahan padi selama ini masih menggunakan metode manual dengan cara mengumpulkan padi kemudian di masukan kedalam karung dan diangkut menuju tempat yang diinginkan. Banyak kelemahan pada metode ini diantaranya padi dapat tumpah selama pengangkutan, banyak menggunakan tenaga manusia, membutuhkan waktu yang lama, ongkos produksi meningkat.

Pada industri pangan diluar negeri seperti di Amerika, Eropa, Cina dan India untuk mengatasi masalah pengangkutan material berbentuk biji sudah menggunakan (Mills, D., 2016); (Lourenço, G. A., 2018); (Sharma, A., 2019); (Hall, S., 2012). Mesin ini berfungsi memindahkan biji-bijian dari satu tempat ke tempat lain menggunakan media udara.

Terdapat 2 jenis *Pneumatic conveying system* berdasarkan kepadatan material yang diangkut atau dipindahkan yaitu *Dilute phase conveying system* untuk material cair dan *Dense phase conveying system* untuk material padat (Mills, D. 2004); (Chandana Ratnayake, 2005); (Cai, L.,2014);. Perbedaan material cair dan padat bukan berdasarkan jenis material yang diangkut, tetapi dilihat dari perbandingan komposisi material dan udara pada pipa penghantar. Jika pipa berisi lebih banyak udara dibandingkan material disebut sistem cair (*dilute*) sedangkan pipa yang penuh dengan material yang diangkut disebut sistem padat (*dence*).

Jenis *Dilute phase conveying system* dibedakan berdasarkan cara kerja mesin tersebut menjadi 3 jenis, pertama *Pressure conveying system (positive conveying)* (Tripathi, N. M., 2018); (Tripathi, N. M., 2019). Kelemahan pada mesin *Pressure conveying system* yaitu harus membuat tempat penampungan (feeder hopper) kemudian memasukan material biji-bijian yang akan dipindahkan kedalamnya dan tidak dapat berpindah tempat. Kedua jenis *Vacuum conveying system (negative conveying)* kelemahannya yaitu jarak material yang dipindahkan terbatas karena hanya mengandalkan daya hisap *Vacuum blower* dan tidak dapat berpindah tempat. Ketiga jenis *Combine conveying system* yang

menggabungkan kedua sistem sebelumnya menjadi sistem baru.

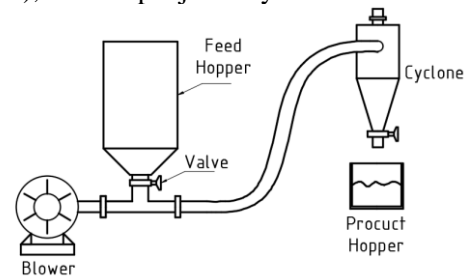
Portable vacuum grain conveyor system merupakan pengembangan dari sistem *Combine conveying system* yang memiliki keunggulan tidak memerlukan penampung material dan mampu memindahkan material biji-bijian dari suatu tempat ke tempat lain dengan bebas, pemindahan material lebih jauh dan dapat berpindah tempat dengan mudah.

Fokus tujuan penelitian ini pada pengujian kebisingan, pengujian kecepatan hisap udara selang *input* dan kecepatan dorong pada selang *output*, pengujian kapasitas mesin dan pengujian *thermal mesin PVGC*. Harapannya mesin *PVGC* layak digunakan dan menjadi solusi permasalahan industri penggilingan dalam proses pemindahan padi.

II. METODE

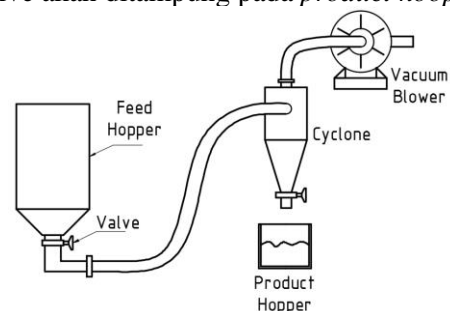
2.1. Kajian Literatur

Sebelum penjelasan metode pengujian mesin, akan dibahas terlebih dahulu perbedaan cara kerja antara *Pressure conveying system (positive conveying)*, *Vacuum conveying system (negative conveying)*, dan *Combine conveying system* (Mills, D. 2004), berikut penjelasannya:



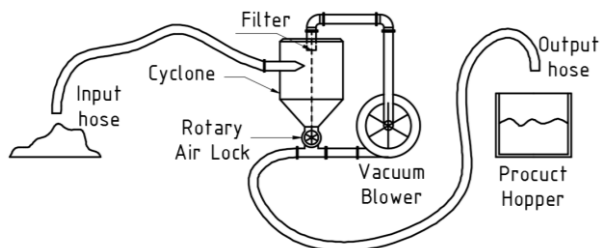
Gambar 1. Skema *Pressure conveying system*

Pada gambar 1 adalah skema cara kerja sistem *Pressure conveying system*, mesin ini hanya memanfaatkan dorongan udara dari *blower* yang meniup material biji yang jatuh dari *feed hopper*. Material biji akan dimasukan pada *cyclone* untuk memisahkan udara dan material biji. Udara akan keluar melalui atas *cyclone* sedangkan material biji akan turun melalui *valve*. Material biji yang keluar dari *valve* akan ditampung pada *product hooper*.



Gambar 2. Skema *Vacuum conveying system*

Pada gambar 2 adalah skema cara kerja sistem *Vacuum conveying system*, mesin ini hanya memanfaatkan daya hisap *vacuum blower* untuk menarik material biji dari *feed hopper* kemudian masuk menuju *cyclone*. Didalam *cyclone* material biji dipisahkan dengan udara. Udara akan keluar pada bagian atas karena hisapan *vacuum blower* sedangkan material biji akan jatuh dan ditampung kedalam *product hopper*.

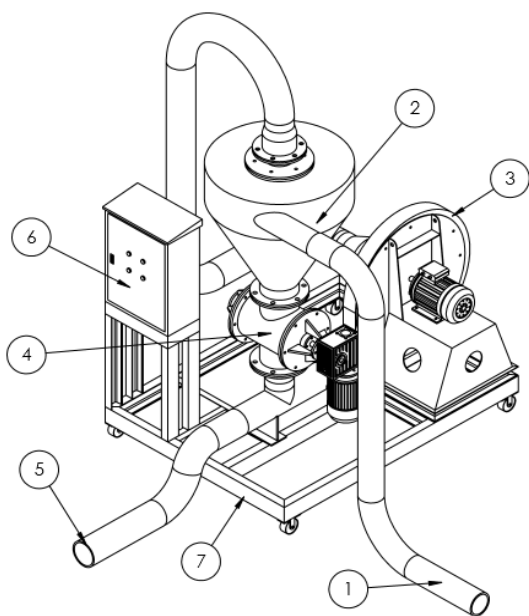


Gambar 3. Skema *Combine conveying system*

Pada gambar 3 adalah skema cara kerja sistem *Combine conveying system*, mesin ini memanfaatkan daya hisap dan daya dorong *vacuum blower*. Material biji dihisap oleh selang *input* kemudian masuk kedalam *cyclone* untuk memisahkan udara dan material biji. Udara masuk menuju *vacuum blower* dan ditiup untuk mendorong material yang jatuh dari *cyclone* melalui *rotary air lock*. Material biji keluar melalui selang *output* menuju *product hopper*.

2.2. Komponen Utama Mesin

Beberapa komponen utama mesin *Portable vacuum grain conveyor* dapat dilihat pada gambar 4, diantaranya:

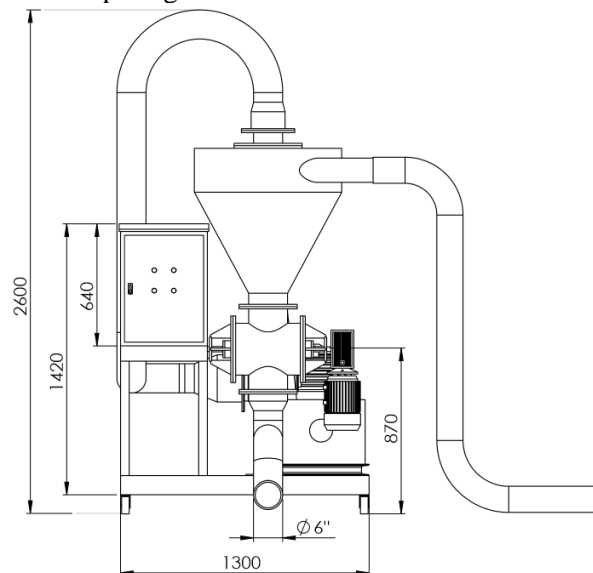


Gambar 4. Komponen Utama PVGC

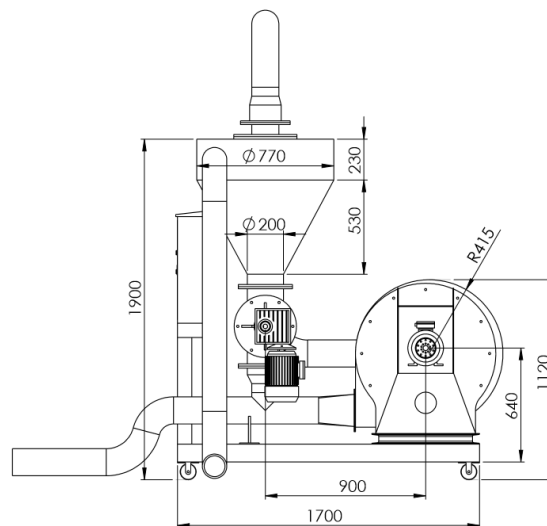
Keterangan Gambar 4:

1. Selang *input*
2. *Cyclone*
3. *Vacuum blower*
4. *Rotary air lock*
5. Selang *output*
6. Box panel
7. Rangka

Ukuran umum mesin *Portable vacuum grain conveyor* dapat dilihat pada gambar pandangan depan seperti gambar 5, dan gambar pandangan samping kanan seperti gambar 6.



Gambar 5. Pandangan depan mesin PVGC



Gambar 6. Pandangan samping kanan mesin PVGC

2.3. Penjelasan Komponen Utama PVGC

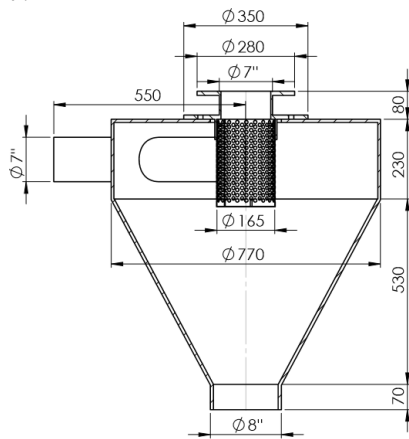
Nama dan fungsi komponen utama mesin PVGC seperti gambar 4 diantaranya:

1. Selang *Input*

Selang input berfungsi untuk saluran masuk penghisap material biji-bijian kedalam *cyclone*. Selang ini berbahan *PVC Duct Hose* berdiameter 6 inchi panjang 10 meter.

2. Cyclone

Cyclone berfungsi memisahkan material biji dan udara (Wang, Lingjuan, 2003); (Muhammad Ridwan, 2021). Udara akan terhisap kebagian atas *cyclone* karena daya hisap *vacuum blower*. Sedangkan material biji akan tertahan *filter* dan turun kebawah melalui *Rotary air lock*. Bahan *Cyclone* terbuat dari baja tebal 3mm. Didalam *Cyclone* terdapat *filter* dengan ukuran lubang mess 2 mm. Ukuran utama dari *Cyclone* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Ukuran utama *Cyclone*

3. Vacuum Blower

Vacuum blower berfungsi untuk menghisap udara dari *Cyclone* dan meniup udara menuju bagian bawah *Rotary air lock*. Tiupan udara dari *vacuum blower* akan mendorong material biji-bijian yang keluar dari *Rotary air lock*. Material akan dikeluarkan melalui selang *output*. *Vacuum blower* yang digunakan memiliki spesifikasi berjenis sentrifugal dengan kipas berbentuk *curve-s*, motor 3 phase, 11 kWatt, 21 Ampere, kecepatan maksimum 2930 rpm. Bentuk *Vacuum blower* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. *Vacuum blower*

4. Rotary air lock

Rotary air lock berfungsi untuk mengatur keluaran material biji-bijian dari *cyclone* menuju bagian bawah, kemudian ditiup oleh udara dari *vacuum blower*. Didalam *Rotary air lock* dipasang 6 bilah sirip baja (N. Somsuk, 2011) yang diputar oleh *gear box* dengan perbandingan ratio 1:25 dan memiliki kecepatan putar 56 rpm. *Gear box* digerakan motor 1 phase 0,75 HP, 1,6 Ampere, kecepatan 1390 rpm. Bentuk *Rotary air lock* dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. *Rotary air lock*

5. Selang Output

Selang *output* berfungsi sebagai saluran keluar material biji-bijian dan udara dari *Vacuum blower* yang melewati bagian bawah *Rotary air lock*. Selang ini berbahan *PVC Duct Hose* berdiameter 5 inchi panjang 10 meter.

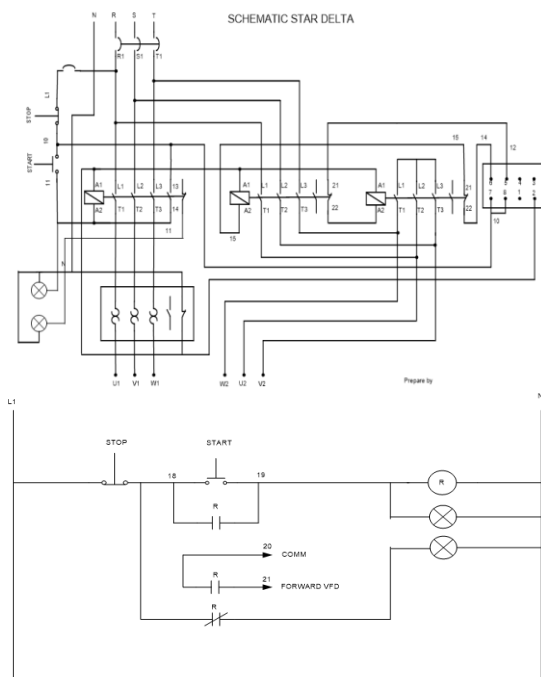
6. Box panel

Box panel berfungsi sebagai tempat komponen elektronik yang mengatur sistem mesin *Portable vacuum grain conveyor*. *Box panel* berisi 2 pcs *MCB* 63A; 1 pcs *MCB* 2A; 4 pcs *Kontaktor magnet* 40A; 1 Pcs *Thermal Overload Relay* 32A, 1 pcs *Timer Delay Relay*; 1 pcs *Inverter* 3,7kW 5HP.

Cara kerja sistem kelistrikan dimulai dari sumber utama PLN 3 phase dibagi menjadi 2 jalur oleh terminal pembagi. Jalur pertama masuk ke *MCB* 3 phase 63A kemudian menuju *Kontaktor magnet* 1 dan di jumper ke *Kontaktor magnet* 2. Dari *Kontaktor magnet* 2 arus listrik diteruskan ke *Thermal Overload Relay* kemudian menggerakkan motor listrik *vacuum blower*. Fungsi pemasangan 2 buah *kontaktor magnet* untuk membuat rangkaian yang mengurangi lonjakan arus saat motor pertama dihidupkan.

Jalur kedua dari terminal pembagi arus listrik masuk ke *MCB* 3 phase 6A, kemudian menuju *kontaktor magnet* 3 diteruskan ke *Inverter* 5HP dan ke *Time Delay Relay* sebelum ke motor *gearbox*

untuk menggerakkan *rotary air lock*. Rangkaian listrik pada box panel dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. rangkaian listrik panel box

Bentuk box panel yang sudah dirakit dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Box panel

7. Rangka

Rangka mesin berfungsi menopang seluruh komponen utama mesin *Portable vacuum grain conveyor*. Rangka terbuat dari baja profil C ukuran 120X50X5mm. Pada bagian bawah rangka terdapat 4 buah roda untuk mempermudah pemindahan mesin.

Foto seluruh bagian mesin *Portable vacuum grain conveyor* dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Mesin PVGC

2.4. Metode Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada mesin *Portable vacuum grain conveyor* meliputi:

1. Pengujian kebisingan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebisingan mesin *Portable vacuum grain conveyor* kemudian berapa jarak aman terdekat minimum manusia berada disamping mesin PVGC. Pengujian kebisingan menggunakan alat *Sound level meter* merek Testo 816-1. Pengukuran dilakukan dengan variasi penambahan jarak per 10 cm.

2. Pengujian kecepatan udara hisap dan kecepatan udara dorong

Pengujian ini bertujuan mengukur kecepatan udara hisap yang mengalir masuk pada ujung selang *input*, dan kecepatan udara dorong yang keluar pada ujung selang *output*. Variasi pengujian dilakukan dengan mengatur bukaan katup *vacuum blower* menjadi 3 kondisi, katup terbuka *full* atau 90°, kemudian katup terbuka 60°, dan katup terbuka 45°. Pengujian kecepatan udara hisap dan kecepatan udara dorong menggunakan alat digital anemometer merek Benetech GT8907.

3. Pengujian Kapasitas mesin *Portable Vacuum Grain Conveyor*

Pengujian kapasitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan daya angkut memindahkan material berupa gabah IR 64 persatuan waktu. Pengujian dilakukan dengan menimbang material gabah yang berhasil dipindahkan dalam waktu 1 menit. Jarak antara tempat penampung awal ke penampung akhir 20 meter.

4. Pengujian Thermal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui suhu terpanas komponen utama pada saat mesin beroperasi. Metode pengukuran suhu dilakukan dengan merekam dan memotret suhu komponen utama mesin PVGC menggunakan alat ukur *thermal imager* merek Testo type 868. Dari alat ukur dapat terlihat nilai suhu pada masing-masing komponen yang diukur dan dicatat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian didapatkan hasil sebagai berikut:

3.1. Pengujian Kebisingan

Hasil pengujian kebisingan pada semua komponen utama mesin PVGC didapatkan volume tertinggi sebesar $95,5 \text{ dBA} \pm 1$ pada posisi 10 cm di belakang motor listrik *vacuum blower*, seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Pengujian kebisingan

Kemudian jarak aman pendengaran manusia maksimum 80 dBA (Rossalia, D., 2019) dan didapatkan jarak aman dari mesin PVGC pada jarak 1 meter dengan tingkat kebisingan rata-rata $77 \text{ dBA} \pm 1$. Sehingga disarankan untuk operator atau manusia berada diluar jarak tersebut.

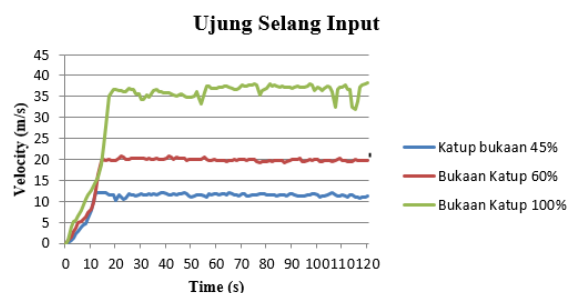
3.2. Pengujian kecepatan udara hisap dan kecepatan udara dorong

Pengujian kecepatan udara hisap dan kecepatan udara dorong dilakukan pada ujung selang *input* dan ujung selang *output*. Proses pengukuran dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Proses pengukuran daya hisap

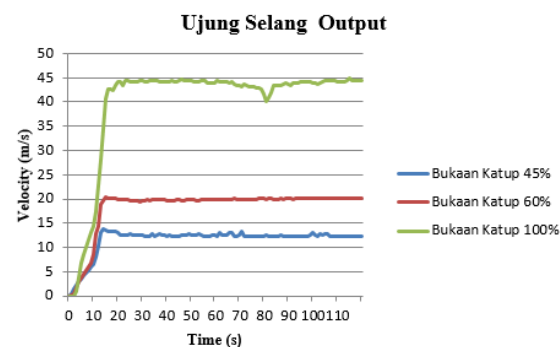
Pengujian yang dilakukan pada ujung selang *input* didapatkan data seperti grafik pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil uji selang *input*

Dari grafik gambar 15 dapat disimpulkan kecepatan udara hisap pada saat katup *vacuum blower* dibuka 45% menghasilkan kecepatan udara hisap $12 \text{ m/s} \pm 1$. Kemudian pada saat katup dibuka 60% menghasilkan kecepatan udara hisap $20 \text{ m/s} \pm 1$. Ketika katup dibuka full 100% menghasilkan kecepatan udara hisap $38 \text{ m/s} \pm 3$.

Kemudian hasil pengujian yang dilakukan pada selang *output* dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil uji selang *output*

Dari grafik pada gambar 16 didapatkan kecepatan udara dorong saat katup *vacuum blower*

dibuka 45% menghasilkan kecepatan 13 m/s \pm 1. Kemudian pada saat katup dibuka 60% menghasilkan kecepatan udara dorong 20 m/s \pm 1. Ketika katup dibuka full 100% menghasilkan kecepatan udara dorong 44 m/s \pm 2.

3.3. Pengujian Kapasitas mesin *Portable vacuum grain conveyor*

Pengujian kapasitas mesin dilakukan dengan cara mehisap dan memindahkan material gabah. Gabah yang diuji berjenis IR64. Dari pengujian sebanyak 7 kali didapatkan mesin *PVGC* mampu memindahkan material gabah 88 kg/menit \pm 5 kg. Proses pengujian kapasitas dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Proses pengujian kapasitas

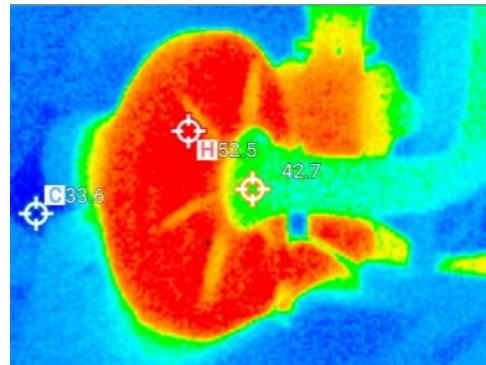
Kekuatan dorongan udara dari selang output masih kencang sehingga gabah masih dapat terlempar 4-5 meter dari ujung selang.

3.4. Pengujian Thermal

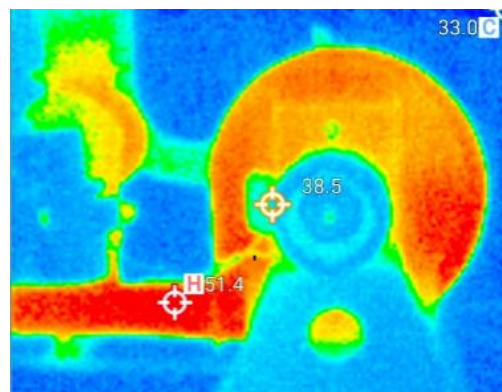
Pengujian thermal dilakukan pada semua komponen utama mesin *Portable vacuum grain conveyor* bekerja. Pengambilan data dilakukan setelah 1 jam mesin bekerja karena tidak terjadi peningkatan suhu lagi setelah itu. Ada dua bagian komponen yang memiliki suhu tinggi. Pertama bagian depan *Vacuum blower* yang bersuhu maksimum 52,5 °C \pm 0,5 seperti gambar 18.

Bagian kedua yang memiliki suhu tertinggi yaitu pada bagian bawah *Rotary air lock* dan didepan *Vacuum blower* yang bersuhu maksimum 51,4°C \pm 0,5 seperti gambar 19.

Suhu pada motor listrik bernilai 48°C \pm 1 sehingga di bawah batas maksimum suhu pengoperasian motor listrik insulation class F sebesar 155°C (Chalmers, B.J., 1988).



Gambar 18. Pengukuran suhu *Vacuum blower*



Gambar 19. Pengukuran bagian air lock

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Dari kegiatan pembuatan dan pengujian mesin *Portable vacuum grain conveyor* dapat disimpulkan beberapa poin penting diantaranya:

1. Bunyi tertinggi yang dihasilkan oleh mesin *Portable vacuum grain conveyor* pada bagian motor listrik vacuum blower dengan nilai 95,5 dBA \pm 1. Posisi aman terdekat manusia berjarak 1 meter dari mesin *PVGC* dengan nilai kebisingan 77 dBA \pm 1.
2. Kecepatan udara hisap pada selang *input* didapatkan rata-rata -38m/s \pm 1.
3. Kecepatan udara dorong pada selang *output* didapatkan rata-rata 40m/s \pm 1.
4. Suhu terpanas terjadi pada bagian *Vacuum blower* maksimum 52,5 °C \pm 0,5.
5. Kapasitas daya mesin *Portable vacuum grain conveyor* untuk memindahkan gabah jenis IR64 yaitu 88 kg/ menit \pm 5 kg.

Saran

Mesin *PVGC* tidak dapat memindahkan material ringan seperti kertas dan plastik sehingga jika ada material tersebut ikut terhisap akan menutup *filter* di

dalam *cyclone* sehingga akan mengurangi kekuatan hisapnya.

Ucapan Terima Kasih

Riset ini didukung oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan melalui Program Pendanaan Program Riset Keilmuan Terapan Tahun 2021.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Cai, L., Liu, S., Pan, X., Guiling, X., Gaoyang, Y., Xiaoping, C., & Changsui, Z. (2014). *Comparison of pressure drops through different bends in dense-phase pneumatic conveying system at high pressure. Experimental Thermal and Fluid Science*, 57, 11–19. doi:10.1016/j.expthermflusci.2014
- Chalmers, B.J. (1988) *Electric Motor Handbook*. 1st edn. Manchester: Butterworth & Co. Ltd.
- Chandana Ratnayake (2005). *A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems* By Department of Technology, Telemark University College(HiT-TF), Kjølnes Ring, N-3914 Porsgrunn, Norway
- Hall, S. (2012). *Pneumatic Conveying. Branan's Rules of Thumb for Chemical Engineers*, 244–256. doi:10.1016/b978-0-12-387785-7.00015-3
- Lourenço, G. A., Gomes, T. L. C., Duarte, C. R., & Ataíde, C. H. (2018). *Experimental study of efficiency in pneumatic conveying system's feeding rate. Powder Technology*. doi:10.1016/j.powtec.2018.11.002
- Mills, D. (2016) *Pneumatic Conveying Design Guide*. 3rd edn. Edited by D. Mills. Oxford: Elsevier Ltd.
- Mills, D. (2004). *Review of pneumatic conveying systems. Pneumatic Conveying Design Guide*, 29–53 doi:10.1016/b978-075065471-5/50002-2
- Mills, D. (2004). *Introduction to pneumatic conveying and the guide. Pneumatic Conveying Design Guide*, 3–28. doi:10.1016/b978-075065471-5/50001-0
- Muhammad Ridwan, Andri Surya R, Irga Nugraha (2021). Simulasi Sistem Aliran Massa Pneumatic Grain Conveyor Kapasitas 135 Ton/Jam (1-11). *Jurnal Rekayasa Energi Dan Mekanika – Vol. 01 No. 01*
- N. Somsuk, T. Wessapan, S. Teekasap (2011). *Design and Development of a Rotary Airlock Valve for using in Continuous Pyrolysis Process to Improve Performance (71-75)*. International Conference on Manufacturing Science and Technology (ICMST 2010)
- Pemerintah Kabupaten Indramayu (2022) *Pemkab Indramayu Raih Penghargaan Bidang Pertanian dari Kementan RI | Kabupaten Indramayu, Kabupaten Indramayu*. Available at: <https://indramayukab.go.id/pemkab-indramayu-raih-penghargaan-bidang-pertanian-dari-kementan-ri/> (Accessed: 1 September 2022).
- Rossalia, D. (2019) 'Perubahan Respon Pendengaran Karena Pemakaian Earphone', *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 21(1), pp. 20–31. Available at: <https://doi.org/10.20473/jbp.v21i1.2019.20-31>.
- Sharma, A., & Mallick, S. S. (2019). *Modelling pressure drop in bends for pneumatic conveying of fine powders. Powder Technology*, 356, 273–283. doi:10.1016/j.powtec.2019.08.047
- Tripathi, N.M., Levy, A. and Kalman, H. (2018) 'Acceleration pressure drop analysis in horizontal dilute phase pneumatic conveying system', *Powder Technology*, 327(March 2018), pp. 43–56. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.045>.
- Tripathi, N. M., Portnikov, D., Levy, A., & Kalman, H. (2019). *Bend pressure drop in horizontal and vertical dilute phase pneumatic conveying systems. Chemical Engineering Science*, 115228. doi:10.1016/j.ces.2019.115228
- Wang, Lingjuan (2003). *Theoretical study of cyclone design*. Doctoral dissertation, Texas A&M University. Texas A&M University. Available electronically from <https://hdl.handle.net/1969.1/2192>.