

## **STUDI KASUS PERANCANGAN ALAT PEMANAS SAMPAH MENGUNAKAN *HEATER ELECTRIC* PADA PT. XYZ**

**Marten Darmawan<sup>\*</sup>, Josaphat Febrian. S, Arka Soewono**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail: [marten.darmawan@atmajaya.ac.id](mailto:marten.darmawan@atmajaya.ac.id)

### **ABSTRAK**

Studi kasus dilakukan di PT. XYZ dengan tujuan untuk mempelajari dan melakukan analisis terhadap alat pengolah sampah yang diklaim mampu mengatasi permasalahan sampah di Indonesia dari masalah penumpukan, pencemaran, serta efek keberlanjutannya. Cara kerja alat ini adalah dengan memanaskan sampah bukan dengan cara dipanaskan melalui pembakaran melainkan dipanaskan dengan bantuan listrik, singkatnya mengubah energi listrik menjadi energi panas, dan dilakukan dengan siklus tertutup sehingga mencegah polusi udara akibat pembakaran sampah. Hasil akhir yang didapatkan adalah sampah yang bervolume kecil, berwujud keras, namun masih mempertahankan fisik dari sampah tersebut. Walau jauh dari sempurna karena beberapa faktor, hasil akhir ini kemudian dihancurkan melalui mesin pencacah untuk mengubahnya menjadi butir-butir dimana butir-butir ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal seperti pupuk tanaman, unsur tambahan untuk aspal, atau dijadikan unsur tambahan bahan bangunan.

**Kata kunci** : Pemanas listrik ; Panas ; Pemadat Sampah

### **ABSTRACT**

*The case study was conducted at PT. XYZ with the aim of studying and analyzing waste processing equipment which is claimed to be able to overcome the waste problem in Indonesia from the problems of accumulation, pollution, and its sustainability effects. The way this tool works is by heating the waste, not by heating it through combustion but by heating it with the help of electricity, in short, it converts electrical energy into heat energy, and is done in a closed cycle, thus preventing air pollution due to burning waste. The final result obtained is waste that is small in volume, hard in appearance, but still maintains the physical nature of the waste. Even though it is far from perfect due to several factors, this final result is then crushed using a chopping machine to turn it into granules where these granules can be used for various things such as plant fertilizer, additional elements for asphalt, or used as additional elements for building materials.*

**Keywords** : *Electric heater; Heat; Waste Compactor*

### **1. PENDAHULUAN**

Plastik banyak digunakan untuk berbagai jenis kebutuhan hidup. Namun penggunaan berlebihan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Studi membuktikan bahwa sampah plastik membutuhkan waktu sampai 1000 tahun untuk terurai secara sempurna [1].

Pada dasarnya, plastik terbuat dari senyawa kimia yang terdapat di minyak mentah (*crude oil*) yang dibantu dengan tekanan dan panas menciptakan polimer yang disebut polythene yang merupakan sebuah jenis plastik yang banyak digunakan. Ketika polimer tersebut berhasil dibentuk,

cairan panas yang merupakan plastik mentah ini didinginkan dan dipotong atau dibagi menjadi beberapa bagian [2]. Plastik yang dahulu dianggap sebagai keajaiban ilmiah dalam penemuan manusia sekarang dianggap sebagai masalah lingkungan. Polusi sampah plastik yang terjadi di darat dan laut sudah menjadi topik pembahasan di seluruh penjuru dunia, terutama di Asia dimana sebagian besar sampah / limbah plastik ini banyak ditemukan di perairan / laut bebas. Lebih lagi, media-media banyak meliputi kehidupan biota laut yang terpengaruh langsung akan adanya polusi sampah plastik ini, dari kantong plastik,

barang-barang yang terbuat dari plastik. Bahkan sebuah penelitian mengungkapkan ditemukannya limbah plastik di bagian terdalam dari Samudra Pasifik, yaitu Palung Mariana sedalam 11km [3]. Tentunya melakukan pembersihan sampah secara masif membutuhkan tenaga yang banyak, belum termasuk waktu yang terbuang [4].

Cara yang sering kali digunakan adalah dengan mendaur ulangnya. Dalam kehidupan sehari-hari, produk olahan daur ulang plastik banyak dijumpai seperti botol plastik bekas minuman yang dipakai untuk industry kreatif. Selain itu, ada juga beberapa objek plastik yang memiliki umur pakai yang panjang sehingga tidak diperlukan pembuangan seperti kemasan makanan Tupperware. Namun faktanya banyak kemasan plastik yang hanya sekali pakai dan tidak pernah bisa digunakan untuk didaur ulang seperti kemasan plastik pembungkus sedotan, atau packaging makanan instan.

Faktanya, hanya sebagian kecil sampah plastik yang mampu didaur ulang atau masih memiliki nilai ekonomis untuk digunakan berkali-kali. Menurut studi, selama tahun 1990-2015, dari 6,3 miliar ton sampah plastik yang dihasilkan, 12% mampu dibakar, 9% mampu didaur ulang, menyisakan sekitar 79% yang tidak dapat diolah sehingga tertinggal di alam terbuka [5].

Dari dalam negeri, beberapa solusi yang dilakukan adalah dengan penguburan di tanah, dibakar, atau di daur ulang. Namun cara-cara itu dinilai belum mampu menyelesaikan permasalahan sampah. Contohnya, jika dilakukan penimbunan, seiring waktu jumlah lahan yang bisa dipakai akan berkurang. Dan jika dibakar, malah akan menyebabkan masalah yang lebih serius karena sampah plastik yang dibakar akan menghasilkan senyawa berbahaya yang bersifat karsinogenik. Walaupun bisa di daur ulang, kenyataannya tidak semua sampah tidak bisa di daur ulang, dan umumnya bahan hasil daur ulang mempunyai kualitas yang rendah sehingga metode daur ulang dinilai tidak efisien untuk mengatasi masalah sampah plastik [6].

Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2022 yang mereka dapatkan dari sekitar 202 Kota / Kabupaten seluruh Indonesia, terdapat timbunan sampah sebesar 21,1 juta ton, dimana sekitar 65,71% sudah dikelola dan sisa 34,29% belum dikelola dengan baik [7].

Permasalahan utamanya adalah produksi sampah yang meningkat terus dan sulit dibendung, atau singkatnya, tingkat produksi melampaui tingkat pengolahan. Menurut KLHK dari periode 2019, timbunan sampah mencapai 29,3 juta ton dengan rata-rata produksi per hari sebesar 80.210 ton. Dibandingkan dengan 2022, timbunan sampah menjadi 33,9 juta ton dengan rata-rata produksi per hari sebesar 92.960 ton. Penyumbang terbesar dari sampah ini berasal dari rumah tangga sebesar 35,42%, diikuti dengan sampah dari pasar sebesar 31,12%, perniagaan sebesar 15,61%, fasilitas publik sebesar 4,9%, dan lain-lain sebesar 12,91% [8].

Melihat kasus ini, PT XYZ pun mempunyai ide gagasan untuk membuat alat yang mampu mengelola sampah tersebut secara modern, efisien, dan ramah lingkungan, yakni dengan mengelola sampah bukan dengan cara dibakar, melainkan dengan dipanaskan. Pada dasarnya, ide menggunakan panas untuk mengelola sampah bukanlah konsep baru, bahkan bisa ditelusuri sejauh abad ke-19 di Inggris, dimana mereka menggunakan panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara untuk memulai reaksi pembakaran untuk sampah. Sayangnya karena karakteristik sampah yang basah dan pemindahan panas yang kurang baik, hasil akhir dari proses pembakaran bisa dikatakan tidak efisien.

Sejak itu, ide menggunakan panas untuk mengelola sampah terus dikembangkan, hingga sampai sekarang dimana ide menggunakan panas dari listrik ketimbang pembakaran untuk mengelola sampah mulai digunakan dan diterapkan [9].

Alat pemanas elektrik bekerja dengan prinsip mengubah energi listrik menjadi energi panas. Contoh yang dapat kita jumpai

sehari-hari adalah *hair dryer*, pemanas ruangan, dan sebagainya. Kadang pemanas elektrik juga sering dikaitkan dengan alat pemindah panas. Tentu saja keduanya adalah hal yang berbeda. Pemindah panas berfungsi sebagai pemanas serta pendingin, sementara pemanas elektrik hanya digunakan untuk memanaskan [10].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Analisis Cara Kerja

Alat pengolah sampah utama yang berfungsi untuk memanaskan sampah ini bernama *incinerator*. Cara kerjanya adalah dengan menghasilkan panas dari pemanas elektrik, panas ini kemudian dibawa ke reaktor utama yang berisi sampah dengan bantuan pompa *blower*. Proses pemanasan pun terjadi di reaktor utama. Setelah itu, uap panas terbawa ke atas, mengikuti jalur pipa untuk diarahkan ke separator untuk memisahkan uap dengan air. Sisa uap ini kemudian dikembalikan ke reaktor utama dengan bantuan *blower*. Hasilnya adalah sebuah sistem tertutup dimana uap panas digunakan kembali, dan pemanas elektrik tidak harus bekerja terus sepanjang proses karena bantuan uap panas yang terbawa kembali.

Untuk saat ini, PT XYZ baru membangun 1 unit reaktor untuk digunakan di Desa Pener, Slawi. Mesin pengolah sampah tersebut mampu mengolah sampah sebesar 1 ton per hari atau sekitar 250 kg per jam dengan suhu pemanasan yang dapat dicapai setinggi 600 °C dengan output dari pemanas elektrik sebesar 30 kWh.

### 2.2 Percobaan Penggunaan Alat

Untuk pengujian, akan dilakukan menggunakan 3 variabel berbeda. Variabel pertama dengan kapasitas maksimum dengan perbedaan suhu yang sesuai standar bawaan alat. Variabel kedua adalah dengan kapasitas dibawah kemampuan. Variabel ketiga adalah dengan perbedaan suhu yang lebih rendah.

### 2.3 Persamaan Ilmiah

Persamaan ilmiah yang digunakan untuk pengujian adalah persamaan untuk menghitung kalor.

$$Q = m c \Delta T$$

Dimana

Q = Kalor yang dihasilkan (Joule)

m = Massa dari objek (kg)

c = Kapasitas kalor (J/kg°C)

$\Delta T$  = Perbedaan suhu (°C)

Hasil kalor yang didapatkan ini kemudian diubah menjadi kalor yang dihasilkan per jam (kWh) menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{kWh} = \frac{Q}{3.600.000 \text{ J / kWh}}$$

Terakhir, untuk mencari efisiensi dari alat tersebut dengan persamaan.

$$\eta = \frac{Q_{kWh} \text{ Output}}{Q_{kWh} \text{ Input}}$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Incinerator* milik PT XYZ bekerja dengan cara perpindahan panas konveksi dimana pemanas elektrik dinyalakan untuk menghasilkan uap panas. Lalu uap panas ini digunakan untuk memanaskan timbunan sampah yang terletak di *chamber* / reaktor utama. Pemanasan sampah ini dilakukan untuk membuang kadar air yang terkandung dalam sampah. Dengan hilangnya kadar air tersebut, maka sifat karakteristik / properti sampah tersebut berubah menjadi sampah kering / keras sehingga mempermudah proses pengolahan karena membutuhkan energi yang lebih kecil. Selama proses pemanasan, uap panas yang dihasilkan ini kemudian disaring untuk memisahkan uap air, lalu udara yang tersaring tersebut dikembalikan menuju arah reaktor dengan bantuan semacam pompa *blower*. *Incinerator* ini memiliki sistem tertutup, sehingga udara hasil pemanasan tidak keluar terlepas ke lingkungan bebas meminimalisir atau bahkan menghilangkan polusi. Disaat

yang bersamaan, dengan menggunakan kembali uap panasnya dapat meminimalisir daya kerja dari pemanas elektrik karena tidak harus menyala setiap saat untuk menghasilkan panas, sehingga dinilai efisien dalam jangka panjang.

Setelah proses pemanasan selesai, karena bantuan alat elektronik yang membaca suhu di dalam reaktor yang menandakan bahwa temperatur maksimum telah dicapai maka pemanas elektrik akan mati dengan sendirinya. Setelah itu, temperatur di dalam reaktor akan turun perlahan. Menurut pengamatan, ketika sudah mencapai 60 °C maka sampah di dalam reaktor bisa diambil dan dilanjutkan ke proses pencacahan / *shredding*. Hasil akhirnya adalah potongan-potongan kecil dari sampah yang awalnya susah di olah. Potongan-potongan ini yang kemudian bisa dijadikan bahan industry / ekonomis seperti bahan baku untuk membuat batu bata atau pupuk atau aspal atau bahkan beragam objek.

Untuk memanaskan sampah tentu membutuhkan energi. Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa *incinerator* mampu bekerja dengan efisiensi yang tinggi. Namun nilai efisiensi ini hanya sebatas perhitungan atau teori. Efisiensi aktualnya bisa berbeda, bahkan bisa lebih rendah dikarenakan beberapa faktor seperti jenis sampah yang mempengaruhi nilai kapasitas kalornya, berat aktual, suhu dari pemanasan dan uapnya, dan sebagainya.

Selama melihat proses pengolahan sampah, saya menemukan bahwa beberapa hal masih jauh dari sempurna. Seperti contohnya, proses pemanasan sampah. Hal umum yang dijumpai ketika masyarakat membuang sampah adalah sampah diikat dan dibungkus menggunakan kantong plastik. Jika kantong plastik berisi sampah tersebut diproses melalui *incinerator*, hasil akhir yang kita dapatkan adalah bahwa kantong plastik tersebut mengeras dan malah memproteksi sampah di dalamnya sehingga tidak ikut terbakar. Pada dasarnya, kantong plastik tersebut malah berubah menjadi

pelindung dari sampah di dalamnya supaya tidak ikut terpanaskan. Selanjutnya, jika sampah yang diproses adalah sampah kering seperti daun, kertas, dll, ketika dipanaskan sampai temperatur tertinggi, lalu dibawa keluar dari reaktor, sampah tersebut justru terbakar karena mendapatkan udara yang secara langsung menimbulkan reaksi pembakaran. Kedepannya diharapkan sebuah perubahan desain untuk menambahkan sistem pendingin internal setelah proses pemanasan ditambahkan untuk mengatasi masalah tersebut. Lalu, ditemukan masalah perawatan. Walau diklaim mesin pengolah tersebut membutuhkan minim perawatan, atau bahkan tidak diperlukan perawatan seperti *maintenance* berkala, faktanya ketika mesin coba dibersihkan dengan air, alat *shedder* yang justru mengalami masalah. Masalah tersebut terletak pada *bearing* yang menggerakkan *shedder*, karena disemprotkan dengan air, menyebabkan kemacetan dan hilangnya pelumasan sehingga tidak dapat memutar *shedder*. Untungnya kesalahan ini dikategorikan kesalahan *minor* sehingga hanya perlu penggantian *bearing* yang tahan air. Dan hal terakhir yang saya temukan sebagai kekurangan adalah ketidakmampuan *shedder* untuk memecah / menghancurkan sampah berupa kain seperti potongan baju, karena ketika dimasukkan ke dalam *shedder* walau memiliki fisik kasar, kain tersebut dapat tersangkut dan menyebabkan mesin tidak beroperasi secara maksimal.

Salah satu hal yang saya temukan ketika proses pemanasan sampah dilakukan adalah kualitas uap panas yang dihasilkan setelah pemanasan dilakukan. Mengingat *incinerator* ini bekerja dengan sistem tertutup, maka uap panas yang dihasilkan digunakan kembali untuk melanjutkan proses pemanasan dengan bantuan pompa / *blower* untuk membantu menarik udara / uap dari atas kembali ke bawah. Berdasarkan konstruksi pipa, terdapat sebuah filter yang terletak sebelum *blower* tersebut yang berfungsi untuk menyaring udara sebelum digunakan kembali untuk memanaskan

sampah. Setelah beberapa pemanasan sampah dilakukan, kami mendapati bahwa filter tersebut sangat kotor. Dan mengerikannya, partikel yang terfiltrasi ini bukanlah sembarang debu atau asap, tapi semacam fluida lengket berwarna hitam menyerupai gel. Menurut kami ini adalah cairan yang berbahaya karena faktanya berasal dari pemanasan sampah. Perlu diingat ini berasal dari pemanasan bukan pembakaran. Inilah yang kira-kira menyebabkan mengapa pembakaran sampah dapat menyebabkan masalah kesehatan terutama di paru-paru.

Jika dibandingkan dengan kota-kota besar seperti Jakarta, sampah-sampah yang diolah di Desa Pener cenderung lebih beragam. Hal ini dikarenakan faktor ekonomi. Seperti contoh, selama masa kerja praktek saya, jenis-jenis sampah yang saya amati beragam dari plastik, botol kaca, potongan besi, kain, kertas, kardus, sisa makanan, dan sampah-sampah organik anorganik lainnya. Bila dibandingkan dengan kota besar, rata-rata sampah tersebut lebih berharga untuk beberapa kelompok orang, seperti pemulung yang memilih mengambil sampah dan digunakan ulang untuk kebutuhan sehari-hari, atau tukang loak besi yang masih dapat memperjual belikan besi-besi sisa yang memiliki nilai ekonomi, atau juga seperti pebisnis penjual kain bal yang rata-rata menggunakan kain sisa. Tentu saja kelompok-kelompok orang seperti mereka masih bisa ditemukan di

Desa Pener, tapi jumlahnya masih kecil dibandingkan dengan mereka yang tinggal di kota besar.

Maka dari itu, hal yang saya perhatikan adalah sebelum sampah diolah menggunakan *incinerator*, umumnya pegawai-pegawai disana akan membiarkan para pemulung dan kelompok lainnya mengambil sampah yang masih berguna dan bernilai ekonomis untuk mereka ambil terlebih dahulu. Secara langsung, PT Rekadaya Hijau Semesta berupaya mengatasi masalah sampah tanpa menghilangkan pekerjaan (atau secara kasar, membunuh ekonomi) mereka yang membutuhkan.

Untuk model *incinerator* selanjutnya, diperkirakan dapat mengolah sampah secara lebih efisien dan cepat. Namun sayang, masa kerja praktek saya habis sebelum saya dapat melanjutkan desain ke tahap berikutnya, namun saya kian berharap desain yang sudah saya buat mampu membantu PT Rekadaya Hijau Semesta dalam mengembangkan mesin pengolah sampah yang jauh lebih efisien dan hemat energi kedepannya.

### **3.1 Gambar Alat Pengolah Sampah Foto / Dokumentasi dari Incinerator dan Shredder**

Gambar 1 dan 2 menunjukkan alat incinerator dan shredder pada PT. XYZ yang dikaji pada studi kasus ini.



**Gambar 1.** *Incinerator*



**Gambar 2.** *Shredder*



**Gambar 3.** Hasil akhir dari proses pencacah

Hasil pencacahan sampah menggunakan alat *shredder* ditunjukkan pada Gambar 3.

### 3.2 Tabel Pengujian

Beberapa hasil pengujian dari mesin *incinerator* dengan variasi parameter massa sampah dan Temperatur dapat dilihat pada Tabel 1-4. Dapat terlihat bahwa

**Tabel 1.** Hasil Pengujian dengan Variabel Massa

Massa (kg)	Kapasitas Kalor ( $J/kg^{\circ}C$ )	Perbedaan Suhu ( $^{\circ}C$ )	Kalor (kJ)
250	1674	200	83.696
200	1674	200	66.960
175	1674	200	58.590

**Tabel 2.** Hasil Pengujian dengan Variabel Suhu

Massa (kg)	Kapasitas Kalor ( $J/kg^{\circ}C$ )	Perbedaan Suhu ( $^{\circ}C$ )	Kalor (kJ)
250	1674	200	83.696
250	1674	170	71.145
250	1674	150	62.775

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Efisiensi dengan Variabel Massa

Massa (kg)	Kalor (kJ)	Kalor Kerja (kWh)	Efisiensi (%)
250	83.696	23,24	77,47
200	66.960	18,6	62
175	58.590	16,275	54,25

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Efisiensi dengan Variabel Suhu

Massa (kg)	Kalor (kJ)	Kalor Kerja (kWh)	Efisiensi (%)
250	83.696	23,24	77,47
250	71.145	19,7625	65,875
250	62.775	17,4375	58,125

### SIMPULAN

Dari studi kasus yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Sampah masih menjadi masalah lingkungan, dimana tempat pengolahan mengalami masalah mengelolanya secara cepat dan efisien, karena perbandingan waktu menghasilkan sampah masih lebih cepat jika dibandingkan dengan waktu mengelolanya.
2. Pengolahan sampah secara konvensional seperti penimbunan, pembakaran, pendaur ulang terbukti masih belum efisien dalam mengatasi permasalahan sampah.
3. *Incinerator* milik PT Rekadaya Hijau Semesta bekerja dengan cara perpindahan panas secara konveksi paksa.
4. Mesin pengolah sampah milik PT Rekadaya Hijau Semesta mampu mengolah sampah organik dan anorganik.

5. Melalui mesin ini, kadar air sampah dikurangi melalui proses pemanasan sehingga berubah menjadi keras, lalu dihancurkan melalui penggilingan / *shedder* menjadi pecahan-pecahan kecil yang dapat dijadikan bahan baku.
6. Hasil akhir dari pengolahan sampah melalui pemanasan dan penggilingan menghasilkan sampah yang bersifat keras sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk kebutuhan industri.
7. Perawatan/*Maintenance* yang dibutuhkan sangat minim, hanya sekedar penggantian filter penyaring setelah beberapa kali penggunaan / pengoperasian.
8. Efisiensi yang dihasilkan dari penggunaan heater electric cukup tinggi secara teoritis .
9. Penggunaan incinerator milik PT XYZ dinilai mampu meminimalisir/menghilangkan permasalahan sampah dari segi penimbunan sampah / *overload* hingga permasalahan polusi udara akibat bau tidak sedap / pembakaran sampah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1].Nur Al Marwah Asrul, S. Si ., M. Kes. *Fundamental Mikroplastik*. CV Jejak (Jejak Publisher), 2022.
- [2].Experts, S. Chand. *Plastics and the Environment*. S. Chand Publishing.
- [3].“Sampah plastik ditemukan hampir 11 kilometer di bawah laut.” *BBC News Indonesia*, 15 May 2019, <https://www.bbc.com/indonesia/medi a-48279072>.
- [4].Letcher, Trevor. *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*. Academic Press, 2020.
- [5].Parameswaranpillai, Jyotishkumar, et al. *Recent Developments in Plastic Recycling*. Springer Nature, 2021.
- [6].Anom, I. Dewe Ketut. *Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair*. Jejak Pustaka, 2023,

[https://www.google.co.id/books/editi on/Pirolisis\\_Sampah\\_Plastik\\_Menjad i\\_Bahan\\_B/FSayEAAAQBAJ?hl=id &gbpv=0](https://www.google.co.id/books/editi on/Pirolisis_Sampah_Plastik_Menjad i_Bahan_B/FSayEAAAQBAJ?hl=id &gbpv=0).

- [7]. *7,2 Juta Ton Sampah Di Indonesia Belum Terkelola Dengan Baik | Kementerian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia Dan Kebudayaan*. <https://www.kemenkopmk.go.id/72-juta-ton-sampah-di-indonesia-belum-terkelola-dengan-baik>. Accessed 21 Sept. 2023.
- [8].Indraswari, Debora Laksmi. “Darurat Pengelolaan Sampah di Indonesia.” *kompas.id*, 28 July 2023, <https://www.kompas.id/baca/riset/20 23/07/28/darurat-pengelolaan-sampah-di-indonesia>.
- [9].Chandler, A. J., et al. *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Elsevier, 1997.
- [10]. Beauchamp, Joseph William. *Industrial Electric Heating: The General Principles and Methods of Electric Heating, and Its Applications, Apparatus and Advantages in Industrial Services, with Many Examples from Praticce, for Manufacturers, Electrical Engineers, Designers and Students*. Sir I. Pitman & sons, Limited, 1923.